

УДК 551.21

## ПЕПЛЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ КОРЯКСКОГО ВУЛКАНА (КАМЧАТКА) В 2009 г.: ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ГЕНЕЗИС

© 2011 А.П. Максимов, Л.П. Аникин, Л.П., Вергасова, А.А. Овсянников, В.М. Чубаров

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: maximov@kscnet.ru*

Представлены результаты гранулометрического, химического и минералогического анализов пеплов извержения Корякского вулкана в 2009 г. Отмечается тонкозернистость пеплов, отсутствие в них частиц свежего вулканического стекла и наличие широкого спектра минералов различного генезиса. Описаны обычные магматические минералы, относительно повышенная доля разнообразных аксессуаров и минералы гидротермального генезиса. Сделан вывод о смешанном, резургентно-гидротермальном, генезисе пеплов и гидротермальном характере активизации вулкана.

*Ключевые слова:* Корякский вулкан, пеплы, гидротермальное извержение.

### ВВЕДЕНИЕ

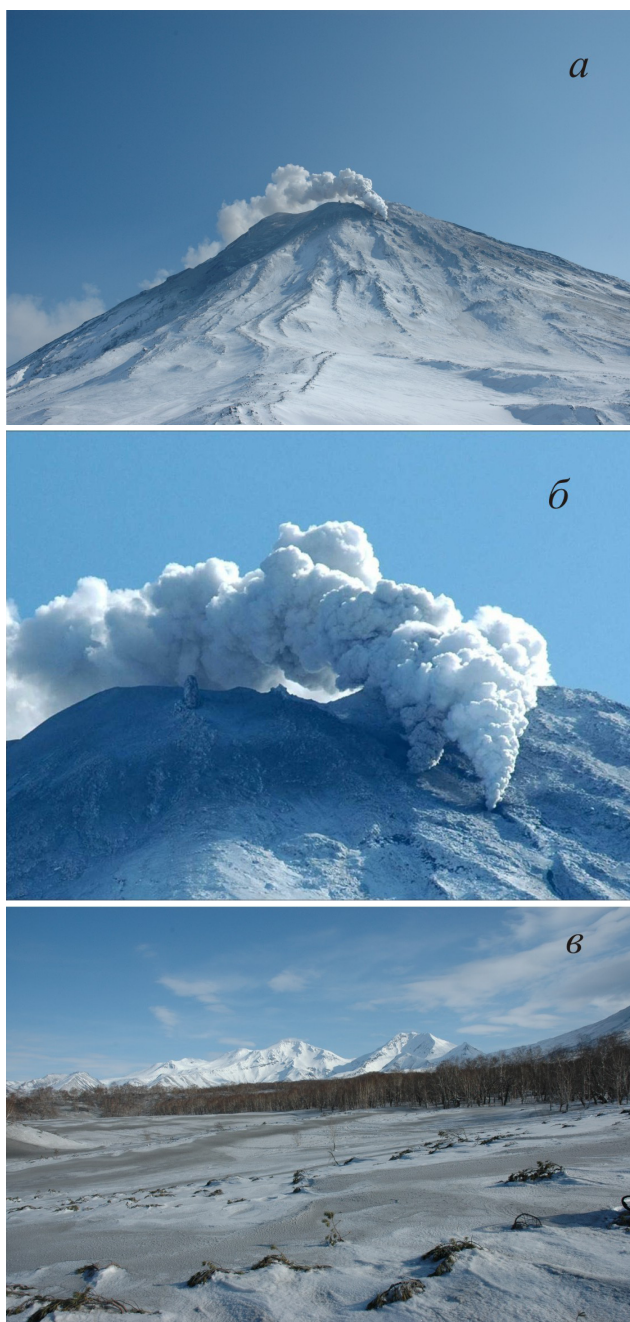
Корякский вулкан – наиболее высокое вулканическое сооружение (абс. высота 3456 м) в Авачинской группе вулканов, расположенной в непосредственной близости от городов Петропавловска-Камчатского и Елизово, где проживает большая часть населения Камчатского края. В связи с этим любая активизация этого вулкана вызывает озабоченность населения и повышенное внимание вулканологов. В историческое время вулкан редко проявлял активность. Она выражалась либо в усилении фумарольной деятельности (Кирсанов и др., 1964; Таран, 1985), либо в коротких эпизодах от слабых до умеренных эксплозий с небольшим содержанием пепла (Гущенко, 1959; Маренина и др., 1962; Овсянников, Маневич, 2009; Сиринов, Тимербаева, 1959). Весной 1994 г. произошло усиление сейсмической активности на глубинах 0-8 км под постройкой вулкана, но соответствующего проявления вулканической активности не наблюдалось (Гордеев, Сенюков, 1998).

Последняя активизация вулкана началась в 2008 г., но наиболее заметная вулканическая деятельность имела место в 2009 г. Основные события, наблюдавшиеся в связи с ней, а также предварявшая и сопровождавшая их сейсмическая активность, описаны в работах (Гирина

и др., 2010; Селиверстов, 2009). Несмотря на скромные масштабы событий, они вызвали оживленную полемику в вулканологической среде. Возникла необходимость ответить на ряд вопросов. Во-первых, можно ли характеризовать происходящее как извержение? Во-вторых, каков характер и механизм этих событий? Наконец, есть ли свидетельства магматической активности вулкана? От ответов на эти вопросы зависело понимание сути происходящего, прогноз дальнейшего развития событий и их возможной опасности для населения, экономики и авиации.

Центры активности 2008-2009 гг. находились ниже вершины на западном склоне вулкана на высоте около 3 км на той же трещине, где происходило извержение 1957 г. В начале января 2009 г. наблюдались три центра активности, расположенных по радиальной трещине, в марте осталось два. Выделения пепла были связаны с верхним центром, ниже происходила только парогазовая активность (рис. 1а, 1б).

С целью анализа характера и механизма последней активизации Корякского вулкана был проведен комплекс исследований пеплов данного извержения. Изучены химический, минеральный и гранулометрический составы пеплов. Краткие результаты исследования были представлены в работе (Аникин и др., 2011). В данной статье они рассмотрены более подробно.



**Рис. 1.** Активность Корякского вулкана 13 марта 2009 г.: *а* – общий вид; *б* – центры активности; *в* – отложения пепла на поверхности снега (юго-западное подножье Корякского вулкана, район г. 3 на рис. 2*б*). Фото А.П. Максимова.

### ОСОБЕННОСТИ ПЕПЛОВ ПОСЛЕДНЕГО ИЗВЕРЖЕНИЯ КОРЯКСКОГО ВУЛКАНА

Пеплы, как правило, имели незначительную мощность и уже на небольшом отдалении от эруптивного центра лежали отдельными пятнами на снегу (рис. 1*в*). На стадии предварительной подготовки пеплы оттаивались от снега, отфильтровывались и высушивались при комнатной температуре. Было отобрано около десятка проб пеплов, взятых на различ-

ных расстояниях от центра извержения в марте - апреле 2009 г. Наиболее детально изучены пеплы, отобранные 04.03.2009 г ~ в двух км к СЗ от эруптивной трещины.

По валовому **химическому составу** пеплы можно отнести к среднекалиевым известково-щелочным андезибазальтам – андезитам (табл. 1, рис. 2). Этот вывод, отчасти, носит формальный характер, т.к. пеплы имеют смешанное происхождение, как показало изучение их минералогии. Приведенные в работах (Мелекесцев и др. 2011; Овсянников, Маневич, 2009) более кислые составы пеплов данного извержения имеют, как показали дополнительные исследования, завышенные содержания  $\text{SiO}_2$ .

Судя по составам пеплов (табл. 1, рис. 2), намечается некоторая дифференциация пеплов по химическому составу в сторону увеличения кислотности с удалением от центра извержения. Важной особенностью состава пеплов являются весьма высокие содержания серы: 1.8-2.85%, наиболее высокое отмечается в ближайшем к центру активности образце. В табл. 1 для сравнения приведен анализ пепла извержения 1957 г. по данным (Сирин, Тимербаева, 1959). Этот пепел также имеет валовый андезитовый состав и высокое содержание серы, но при общем сходстве составов обнаруживает некоторые различия. Особенно удивительно выглядит крайне низкая концентрация  $\text{K}_2\text{O}$ . Так как в основных и средних вулканитах подавляющее количество калия находится в плагиоклазе и стекле (в отсутствии роговой обманки в породах Корякского вулкана), то это можно объяснить только высокой дисперсностью этих фаз и их выносом эксплозивными плюмами. Однако, вероятно, в данном случае имеет место аналитическая ошибка.

**Гранулометрический состав пеплов** характеризуется чрезвычайной тонкозернистостью. В пепле, отобранном 04.03.2009 г. ~ в двух км от центра извержения, практически отсутствуют частицы крупнее 0.5 мм, и резко преобладает фракция < 0.063 мм (рис. 3*а*). Распределение фракций по размерности характеризуется бимодальностью, т.к. небольшой максимум наблюдается в области 0.125-0.25 мм. Наиболее тонкие фракции пепла имеют наиболее высокие концентрации серы (рис. 4), что, с учетом их преобладания, обуславливает и общие высокие содержания серы в пеплах.

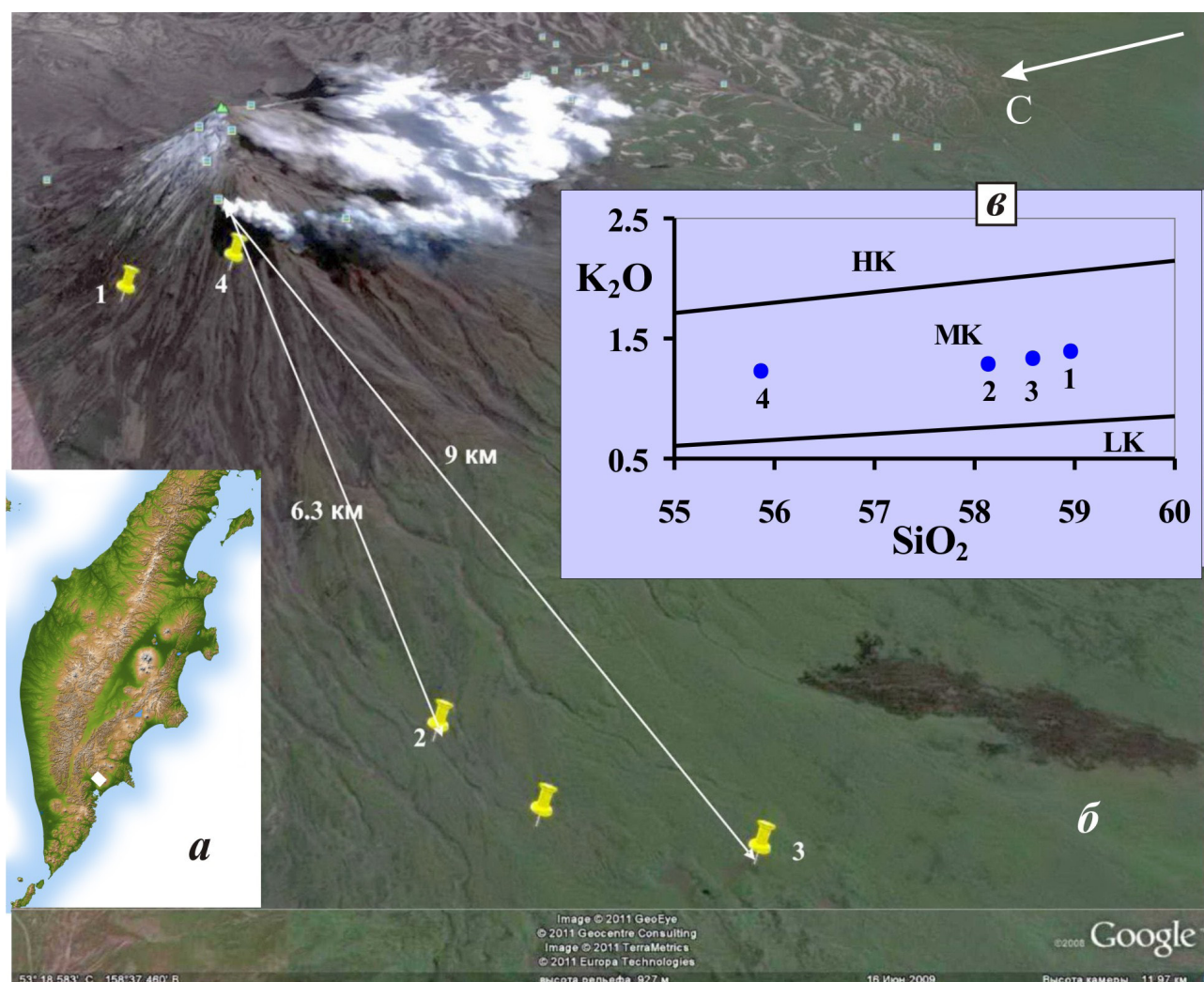
Наши результаты несколько отличаются от данных, полученных О.А. Гириной с соавторами (Гирина и др., 2010) (рис. 3*б*) для пепла, отобранного ~ в 500 м от центра извержения 2 апреля. В последнем отсутствует бимодальность и значительно меньше доля более крупных фракций. Возможно, данные различия

ПЕПЛЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ КОРЯКСКОГО ВУЛКАНА

Таблица 1. Химические составы пеплов извержения Корякского вулкана в 2009 г.

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	ппп	сумма	Дата отбора
1	58.96	0.73	14.97	3.09	3.96	0.11	3.06	6.41	3.01	1.4	0.175	н.о.	2.99	98.97	04.03.2009
2	58.14	0.85	17.72	7.61	н.о.	0.098	3.34	5.43	3.33	1.29	0.13	1.79	н.о.	99.73	13.03.2009
3	58.58	0.83	17.81	7.49	н.о.	0.087	2.95	5.31	3.31	1.34	0.08	1.95	н.о.	99.74	13.03.2009
4	55.87	0.86	17.14	8.12	н.о.	0.108	3.64	6.86	2.97	1.23	0.11	2.85	н.о.	99.76	02.04.2009
5	57.27	0.96	13.06	6.67	2.31	0.08	2.4	5.32	3.19	0.12	0.15	2.72	3.3	97.55	1957
Пересчитано к 100 % без серы и летучих:															
1	61.22	0.76	15.54	7.78*	-	0.11	3.19	6.69	3.14	1.46	0.18	-	-	100.00	04.03.2009
2	59.36	0.87	18.09	7.77	-	0.10	3.41	5.54	3.40	1.32	0.13	-	-	100.00	13.03.2009
3	59.91	0.85	18.21	7.66	-	0.09	3.02	5.43	3.38	1.37	0.08	-	-	100.00	13.03.2009
4	57.65	0.89	17.69	8.38	-	0.11	3.76	7.08	3.06	1.27	0.11	-	-	100.00	02.04.2009
5	61.82	1.04	14.10	10.89*	-	0.09	2.59	5.74	3.44	0.13	0.16	-	-	100.00	1957

Примечания: 1-4 – пеплы извержения 2009 г., номера анализов соответствуют номерам точек на рис. 2; 5 – пепел извержения 1957 (Сирин, Тимербаева, 1959); анализы: 1 – силикатный химический анализ (ИВиС ДВО РАН); 2-4 – рентгенофлуоресцентная спектрометрия (ИГЕМ РАН); ппп – потери при прокаливании, н.о. – не определялось. В анализе 5: S – сумма серы с учетом SO<sub>3</sub>, ппп – сумма H<sub>2</sub>O+, F и Cl; \* – все железо пересчитано на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



**Рис. 2.** Географическое положение района извержения (а); точки отбора образцов пепла извержения Корякского вулкана (б) и положение их составов на диаграмме  $K_2O - SiO_2$  (в). LK, МК, НК – поля низко-, средне- и высококальциевых андезитов, соответственно. Номера точек на графике и изображении соответствуют номерам в табл. 1. Стрелки указывают расстояние точек от центра извержения.

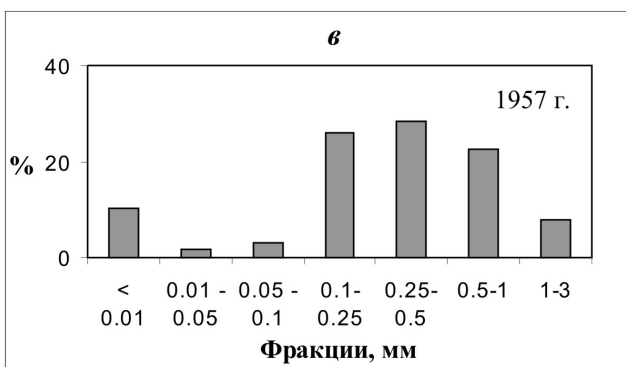
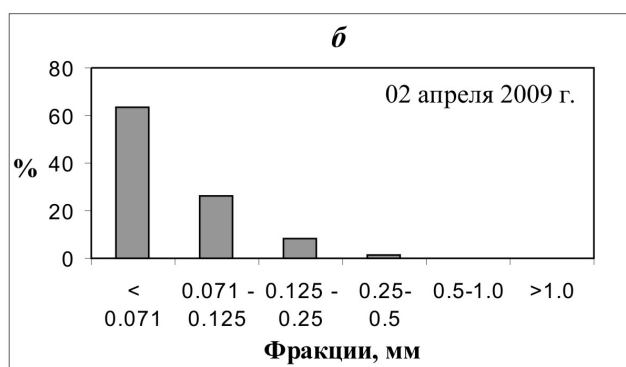
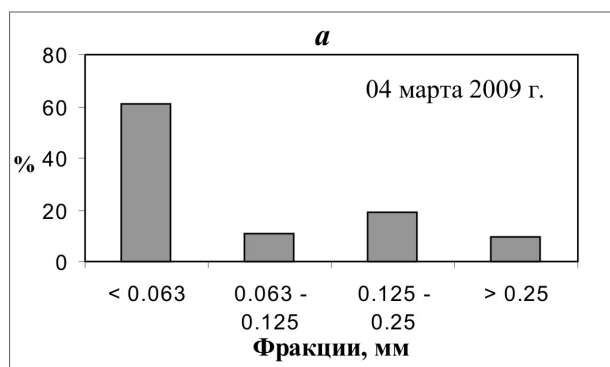
вызваны неполнотой отсеивания тонких фракций в нашем анализе. С другой стороны, также возможно, что они отражают изменение размерности пеплов в ходе извержения или связаны с различными направлениями шлейфов и отлагались в разных зонах от оси пеплопада. Согласно данным работы (Сирин, Тимербаева, 1959) пепел извержения 1957 г. также характеризуется бимодальным распределением по размерам частиц (рис. 3в), но в нем преобладают частицы крупнее 0.1 мм. Последнее обстоятельство объясняется тем, что данный пепел был отобран непосредственно рядом с эруптивной трещиной.

Подавляющее преобладание в пеплах частиц тонких размерностей объясняет большую протяженность эруптивных шлейфов при весьма скромных объемах пеплов (Мелекесцев и др., 2011). Так при мощности пеплов первые см даже на склонах вулкана, прилегающих к

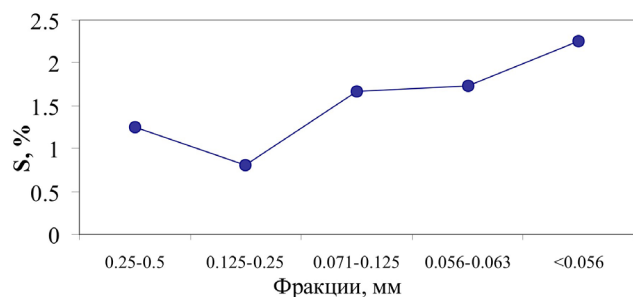
центру активности, протяженность пепловых шлейфов составляла сотни км, хотя их абсолютная высота не превышала 5.5 км, а относительная – 2-2.5 км (Гирина и др., 2010). Повидимому, в пеплах достаточно существенна доля, так называемой, вдыхаемой фракции (< 4 мкм). Следует заметить, что высокая пылеватость пеплов в сочетании с присутствием в них частиц кремнезема и других минералов высокой твердости (см. далее), разнос пеплов на большие расстояния делали их потенциально опасными для здоровья. К счастью, в основном шлейфы были направлены в сторону от населенных пунктов.

**Минеральный состав** пеплов отличается крайним разнообразием.

При просмотре под биноклем отмытого водой пепла (дата отбора 04.03.2009 г.) обнаружены обычные магматические минералы: пироксены (преобладают среди темноцветных),



**Рис. 3.** Гистограммы гранулометрического состава пеплов Корякского вулкана, отобранных: *a* – 04 марта 2009 г.; *б* – 02 апреля 2009 г. (Гирина и др., 2010); *в* – пепел извержения 1957 г. (построено по данным работы (Сирин, Тимербаева, 1959)).



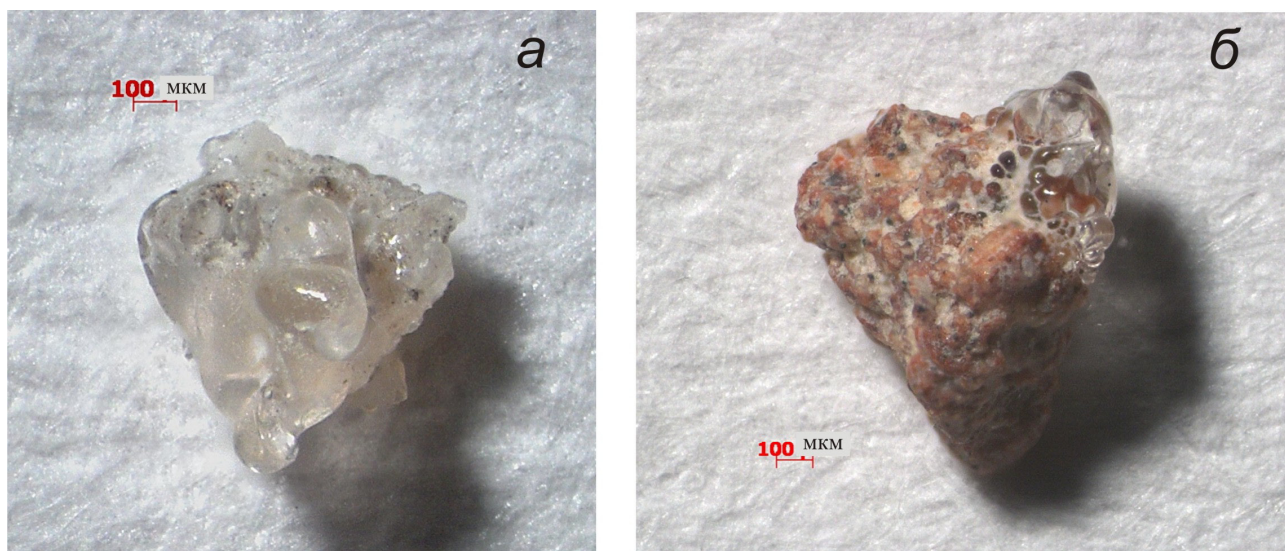
**Рис. 4.** Содержания серы во фракциях пепла, отобранного 4 марта 2009 г. (табл. 1, обр. № 1). Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (ИГЕМ РАН).

оливин, плагиоклаз, магнетит. Обращает на себя внимание обилие округлых частиц окисленных и гидротермально измененных пород (красновато-бурые, молочно-белые, белесые, серые до черных), обогащенных дисперсной, тонкозернистой фазой рудных минералов (окислы и сульфиды железа). Встречаются также единичные зерна плохообразованных кристаллов пирита характерного золотисто-желтого цвета с металлическим блеском, призматические бесцветные микрокристаллы гипса. Примечательно наличие бесцветных прозрачных агрегатов геля кремнезема сферического облика (рис. 5). Подобные почковидные коллоидные образования силикагеля весьма характерны для отложений современных гидротермальных систем (Лебедев, 1979).

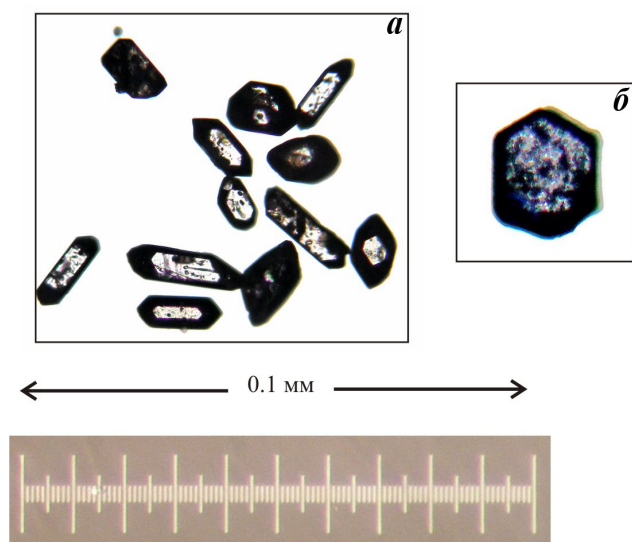
Визуально под бинокляром, после сепарации из пепла тяжелых фракций, определен широкий набор аксессуарных минералов. В пробе пепла, отобранной 4 марта 2009 г., были обнаружены: барит, сфен, циркон, рутил, корунд, гранат, пирит, пирротин, ильменит, шпинель, муассанит, апатит. Примечательно обилие кристаллов циркона, образующего две генерации, различающихся по форме и цвету. Из навески в 140 г было выделено около 150 кристаллов циркона. Циркон нередко представлен прекрасно ограниченными призматическими кристаллами (рис. 6а). Корунд встречен также в виде разновидностей синего (около 30 кристаллов) и розового цвета (несколько сколков). Для синего корунда характерны хорошо ограниченные пирамидальные и пластинчатые кристаллы (рис. 6б). Среди зерен граната обнаружены алмадин, гроссуляр и разновидности андрадита зеленого и медово-желтого цвета. В пеплах, отобранных спустя месяц, 4 апреля 2009 г., циркона, граната, корунда, рутила, сфена в таких количествах уже не обнаружено.

В пеплах извержения 1957 г. А.Н. Сириным и К.М. Тимербаевой (1959) обнаружены пироксены, плагиоклаз, оливин, магнетит, лимонит, гипс, алуниит, сера. Кроме того, ими описаны различные обломки стекла, в том числе, частицы совершенно прозрачного кислого стекла сферолитовой текстуры, которые, по мнению авторов, имеют, несомненно, ювенильное происхождение. В пеплах извержения 2009 г. нами не обнаружено частиц свежего магматического стекла. Возможно, что за такое стекло А.Н. Сирин и К.М. Тимербаева приняли частицы геля кремнезема, внешне очень похожие по их описанию на эти стекла.

**Рентгеновские исследования.** Фракция менее 0.008 мм была изучена методом порошковой дифрактометрии (ДРОН-2, СПбГУ, Санкт-Петербург; режим съемки: CuKα, на-



**Рис. 5.** Частицы геля кремнезема из пепла извержения Корякского вулкана: *а* – отдельная частица силикагеля, *б* – частица окисленной породы с почковидным наростом геля кремнезема. Фотографии сняты с помощью стереомикроскопа Discovery V12, оператор Д.С. Буханова.



**Рис. 6.** Фото зерен циркона (*а*) и зерна корунда (*б*) из пепла извержения Корякского вулкана 4 марта 2009 г.

пряжение 35 kV, сила тока 20 mA). Идентификация проведена по данным качественного рентгенофазового анализа. Наиболее интенсивный максимум на спектре принадлежит анортотлазу ( $d/n=3.25$ ). Менее интенсивный пик ( $d/n=4.15$ ) свидетельствуют о присутствии  $\beta$ -кristобалита. В интервале углов  $2\theta = 18-28^\circ$  отмечается аморфная фаза (минералы кремнезема, опал). Из породообразующих минералов диагностируются минералы из групп пироксена и оливина ( $d/n=3.02$  и  $2.55$ , соответственно). Рентгеновские данные также указывают на наличие в пеплах Корякского вулкана ромбической серы ( $d/n=3.84$ ) и водных сульфатов породообразующих элементов Ca, Al, Fe (очень слабые пики в малых углах,  $d/n=7.5$ ).

На микрозонде («САМЕВАХ», ИВиС ДВО РАН, аналитик В.М. Чубаров) обнаружены: оливин, орто- и клинопироксены, плагиоклаз, магнетит, ильменит, шпинель, калиевый полевой шпат, анортотлаз, гранаты, сфен, рутил, кальцит, кварц, стекло.

В табл. 2 приведены средние и пределы колебаний составов главных породообразующих минералов. По данным микрозондовых анализов составы оливинов колеблются в пределах  $Fo_{73-82}$ , ортопироксенов – в интервале  $En_{60-72}$ , клинопироксенов –  $En_{39-51}$ , плагиоклазов –  $An_{38-74}$ . Составы титаномагнетита заметно варьируют по соотношению окисного и закисного железа, содержанию титана, алюминия, магния и, в меньшей степени, хрома. Среди шпинелей встречены хромистые разности (до 21 %  $Cr_2O_3$ ) и герциниты. Гранаты также имеют достаточно разнообразный состав (табл. 3). Составы стекол заключены в интервале 60-80%  $SiO_2$  и весьма существенно изменяются по остальным компонентам. Обнаружены также зерна фаз кремнезема с низкими суммами микрозондовых анализов, вероятно из-за высоких содержаний воды (табл. 4). Дефициты сумм в этих анализах колеблются от менее 4 до ~ 23%. Вероятно, данные составы представляют зерна силикагеля и опала.

Составы темноцветных минералов и плагиоклаза типичны для известково-щелочных пород от базальтов до андезитов (рис. 7). Составов, отвечающих минералам высокомагнезиальных базальтов, характерных для голоценовых лавовых потоков последних этапов магматической активности в районе Корякского вулкана (Масуренков и др., 1991; Пузанков, 1990), не обнаружено. Судя

ПЕПЛЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ КОРЯКСКОГО ВУЛКАНА

Таблица 2. Средние составы и пределы колебаний составов породообразующих минералов в пеплах извержения Корякского вулкана в 2009 г.

	оливин			ортопироксен			клинопироксен			плагиоклаз		
	среднее	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.
SiO <sub>2</sub>	40.12	39.12	41.30	53.82	52.67	55.44	51.72	48.26	53.71	53.07	44.78	58.55
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.03	0.23	0.13	0.42	0.44	0.13	0.89	0.02	0.00	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	1.28	0.69	3.03	2.30	0.96	4.91	29.22	24.96	32.75
FeO	20.50	16.99	24.69	19.21	15.61	22.25	9.57	4.88	12.64	1.03	0.42	6.19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00
MgO	39.59	36.71	42.29	23.03	18.91	25.78	14.16	12.98	17.87	0.10	0.00	2.97
CaO	0.09	0.06	0.20	1.46	0.98	3.14	20.28	17.12	21.97	11.70	7.11	21.65
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.42	0.24	0.02	0.46	4.59	1.82	7.26
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.48	0.01	0.00	0.04	0.26	0.06	0.61
MnO	0.14	0.05	0.26	0.43	0.14	0.63	0.16	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00
NiO	0.03	0.00	0.11	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
сумма	100.46	99.49	98.92	99.99								
n		59		41			20			58		
F/FM	0.23	0.18	0.27	0.3191	0.2536	0.3595	0.2746	0.1552	0.3426	0.9245	0.4434	1.0000
FO	0.77	0.73	0.82									
WOLL				0.0303	0.0195	0.0721	0.4276	0.3588	0.4725			
EN				0.6603	0.6003	0.7248	0.4149	0.3889	0.5096			
FS				0.3094	0.2462	0.3473	0.1574	0.0818	0.2110			
ORT										0.0149	0.0035	0.0366
AB										0.4093	0.1300	0.6037
AN										0.5757	0.3772	0.8552

Примечание: n – число анализов; FO – форстерит, WOLL – волластонит, EN – энстатит, FS – ферросилит, ORT – ортоклаз, AB – альбит, AN – анортит.

Таблица 3. Составы гранатов в пеплах извержения Корякского вулкана в 2009 г.

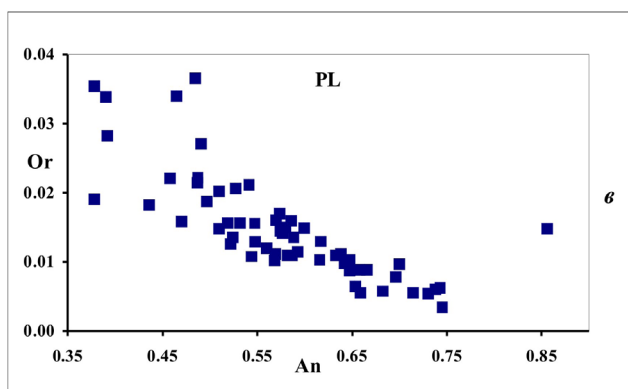
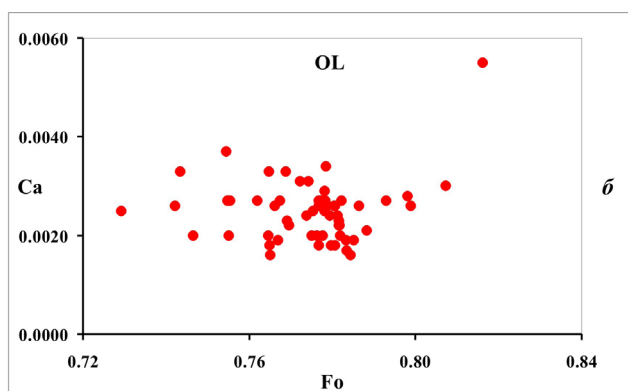
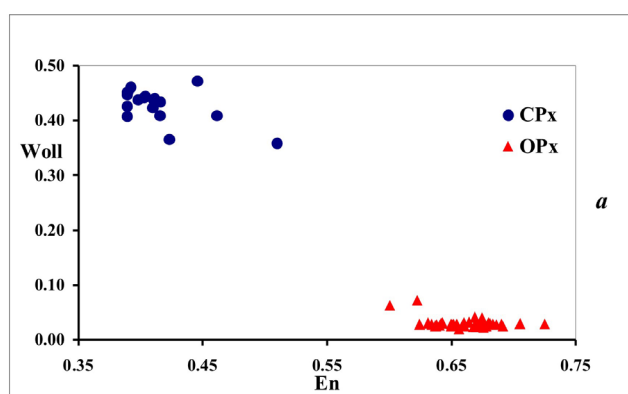
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	50.97	36.93	38.47	38.05	38.03	36.15	39.13	38.98	36.67
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.62	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.36	6.67	8.15	24.37	0.00	22.61	22.28	20.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.85	32.10	21.48	21.78	0.00	33.44	0.00	0.00	1.16
FeO	0.00	0.28	1.10	0.34	11.09	1.14	32.60	31.93	14.14
MgO	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	0.00	6.08	6.11	0.00
CaO	48.29	34.17	35.43	35.21	23.40	32.85	1.37	1.29	23.18
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.37	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
сумма	103.15	103.89	103.80	103.60	96.92	103.58	102.28	100.97	95.82
Число катионов на 24 атома O									
Si	7.7386	6.0033	6.0415	5.9610	5.9454	5.9347	6.0021	6.0419	5.9537
Ti	0.0000	0.0000	0.0727	0.0037	0.0009	0.0000	0.0030	0.0000	0.0020
Al	0.0000	0.0686	1.2339	1.5054	4.4904	0.0000	4.0882	4.0695	3.9487
Fe <sup>3+</sup>	0.4400	3.9273	2.5383	2.5671	0.0000	4.1305	0.0000	0.0000	0.1415
Fe <sup>2+</sup>	0.0000	0.0379	0.1451	0.0451	1.4501	0.1566	4.1822	4.1381	1.9195
Mg	0.0084	0.0089	0.0065	0.0060	0.0013	0.0000	1.3903	1.4110	0.0000
Ca	7.8543	5.9516	5.9614	5.9099	3.9198	5.7781	0.2255	0.2136	4.0327
Na	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
K	0.0000	0.0024	0.0006	0.0018	0.0013	0.0000	0.0000	0.0029	0.0017
Mn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0573	0.0480	0.0000
Ni	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0000	0.0000
сумма	16.041	16.000	16.000	16.000	15.809	16.000	15.950	15.924	16.000
F/FM	0.0000	0.8095	0.9569	0.8833	0.9991	1.0000	0.7505	0.7457	1.0000
SHOR	0.0000	0.0000	0.0178	0.0009	0.0003	0.0000	0.0008	0.0000	0.0005
ANDR	0.0839	0.9821	0.6050	0.6451	0.0000	0.9753	0.0000	0.0000	0.0351
GROS	0.9150	0.0101	0.3524	0.3454	0.7295	0.0000	0.0377	0.0368	0.6419
PYR	0.0011	0.0015	0.0011	0.0010	0.0002	0.0000	0.2374	0.2428	0.0000
ALM	0.0000	0.0063	0.0237	0.0076	0.2700	0.0247	0.7142	0.7122	0.3225
SPES	-	-	-	-	-	-	0.0098	0.0083	-

Примечания: SHOR – шорломит, ANDR – андрадит, GROS – гроссуляр, PYR – пироп, ALM – альмандин, SPES – спессартин.



Таблица 4. Составы фаз кремнезема из пеплов извержения Корякского вулкана в 2009 г.

№	1	2	3	4	5	6	Средн.
SiO <sub>2</sub>	88.64	75.03	74.04	80.05	93.49	81.2	82.08
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.00	0.00	0.00	0.14	0.08	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.06	1.81	2.91	3.56	2.15	6.84	3.22
FeO	0.19	0.12	0.4	0.43	0.27	0.41	0.30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.01	0.26	0.23	0.00	0.01	0.09
CaO	0.18	0.05	0.16	0.19	0.01	0.9	0.25
Na <sub>2</sub> O	0.31	0.00	0.00	0.00	0.26	0.95	0.25
K <sub>2</sub> O	0.4	0.01	0.03	0.09	0.49	0.76	0.30
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
сумма	91.89	77.02	77.79	84.55	96.81	91.15	86.54



по валовым составам этих базальтов, составы оливинов в них должны были быть близки Fo<sub>85</sub>. Вероятно, это объясняется тем, что извержения магнезиальных базальтов были побочными, и их подводящие каналы расположены в стороне от центрального канала вулкана, тогда как трещина, по которой поступали продукты извержения 2009 г., находится вблизи центрального кратера. Представляется, что извержения магнезиальных базальтов не связаны с очагом Корякского вулкана и носили «наложенный» на питающую его магматическую систему характер. На это указывает присутствие таких пород лишь по периферии вулкана и появление их на завершающем этапе, связанной с ним магматической активности (~ 3 тыс. л.н.) (Базанова, Сулержицкий, 2009; Мелекесцев и др., 2011).

#### ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕПЛОВ

Минералы, обнаруженные в пеплах извержения, можно разбить на три группы:

- породообразующие минералы основных и средних магматических пород: плагиоклаз, орто- и клинопироксены, оливин, магнетит, а также вулканическое стекло;
- акцессорные минералы: сфен, циркон, рутил, корунд, гранат, пирит, ильменит, шпинель, муассанит, апатит, пирротин. Вероятно, часть акцессорных минералов имеет магматическое происхождение, а часть образовалась в ходе различных постмагматических процессов.

Рис. 7. Диаграммы составов породообразующих минералов в пеплах извержения Корякского вулкана 2009 г.: а – пироксены, б – оливин, в – плагиоклаз.

Хорошая огранка ряда минералов, возможно, вызвана их ростом из газовой фазы на стенках подводящих трещин;

– минералы, которые можно отнести к гидротермальным: гипс, барит, пирит, сера, кварц, кристобалит, аморфный кремнезем, фазы кремнезема с низкими суммами микронзондовых анализов, сульфиды железа, калиевый полевой шпат.

В работе (Набоко, 1966) дан список из 56 вторичных минералов, развитых на 9 гидротермальных месторождениях мира. На всех этих месторождениях присутствуют опал, кварц, пирит и весьма характерны калиевый плевоидный шпат (адуляр), сера, халцедон, кальцит, которые определены и в пеплах описываемого извержения Корякского вулкана. Также в этом списке отмечены гипс, сфен, рутил, силикагель. Аналогично, в техногенных отложениях труб Мутновского геотермального месторождения обнаружены пирит (наряду с другими сульфидами), различные формы кремнезема (опал, халцедон, кварц, наночастицы  $\text{SiO}_2$ ), карбонаты, адуляр (Андреева, Охапкин, 2010). Также для многих гидротермальных систем Камчатки и мира весьма характерны отмеченные выше почковидные коллоидные образования силикагеля (Лебедев, 1979; Набоко, 1966).

Можно считать, что в настоящее время подводящая система Корякского вулкана представляет собой природную геотермальную скважину. Подобно этому, геотермальная система описана для вулкана Суфриер, о. Монтсеррат, (Boudon et al., 1998), где установлены полиморфные модификации  $\text{SiO}_2$  (опал, кристобалит, кварц), анатаз, пирит, сера, гипс, ангидрит и другие сульфаты. Как отмечают авторы указанной работы, подобный парагенезис типичен для зон поверхностной разгрузки глубоких гидротермальных систем, а присутствие пирита в тефре, наряду с другими гидротермальными минералами, ясно говорит, что тефра не ювенильной природы.

Особенности гранулометрического и минерального состава указывают на смешанную природу пеплов описываемого извержения Корякского вулкана. Они представлены смесью резургентных минералов магматического и, в значительной степени, постмагматического генезиса. Вероятно, среди последних присутствуют фазы как высокотемпературных постмагматических, так и низкотемпературных гидротермальных условий формирования.

## ПРИРОДА АКТИВИЗАЦИИ ВУЛКАНА

В связи с активизацией Корякского вулкана существуют различные мнения о том, как

называть происходившее на вулкане событие: усилением фумарольной активности, просто активизацией (Гирина и др., 2010; Селиверстов, 2009), или извержением, как в 1957 г. (Сирин, Тимербаева, 1959)? А если извержением, то какого рода? Так как в ходе активизации вулкана длительное время наблюдалось выделение пепла с отложением пепловых покровов в окрестностях вулкана и образованием протяженных эруптивных шлейфов, то естественно называть происходящее извержением. Именно так и охарактеризовано это событие в работе (Мелекесцев и др., 2011).

Отсутствие в пеплах частиц свежего стекла, наличие минералов, присущих гидротермальным образованиям, и визуальные наблюдения указывают на то, что данное извержение непосредственно не связано с магматическим процессом, в отличие от моделей, рассмотренных в работах (Иванов, 2010; Селиверстов, 2009).

В «Справочнике по вулканологии» (Влодавец, 1984) термину «извержение» посвящено около полутора сотен статей. Среди них к событиям, имевшим место на вулкане Корякском, может относиться целый ряд типов извержений: фреатическое, фреатомагматическое, газовое, газоэкссплозивное, гидромагматическое, гидромагматическое экссплозивное, гидротермальное вулканическое, гидротермальное трещинное, гидроэкссплозивное, извержение пара, извержение пара вторичного, полувулканическое, псевдовулканическое, слабое пеплогазовое, гидровулканическое и т.п. Во многом эти термины относятся к сходным явлениям, и такое их количество является избыточным. По нашему мнению, как визуальным наблюдениям, так и результатам изучения пеплов наиболее отвечает термин «гидротермальное извержение» по классификации В.В. Иванова (1966), который выделил несколько типов гидротермальных извержений, связанных с вулканизмом. Учитывая что, извержение Корякского вулкана в 2008-2009 гг. непосредственно не связано с магматическим процессом, по данной классификации его следует отнести к типу гидротермальных трещинных. Их возникновение связывается с поступлением на поверхность по тектоническим трещинам, возникающим в районах интенсивной сейсмической и вулканической деятельности, перегретых подземных вод. Мощности таких извержений варьируют и могут быть достаточно значительными, приводя к образованию кратерных воронок.

Таким образом, наши выводы практически совпадают с ранее сделанным в работе (Мелекесцев и др., 2011) заключением о природе последней активизации Корякского вулкана как

гидротермально-фреатическом извержении без признаков ювенильности.

Наличие развитой гидротермальной системы под Корякским вулканом подтверждается комплексом данных, представленным в работе (Кириухин и др., 2011). Там же отмечено существенное изменение режима источников, расположенных в пределах выделяемого в указанной работе геотермального резервуара, как вероятный отклик на активизацию вулкана. В работах (Гонтовая и др., 2011; Мороз, Гонтовая, 2003) по комплексу геолого-геофизических данных сделан вывод о существовании в данном районе зоны повышенной проницаемости, заполненной гидротермальными растворами.

Непосредственной причиной извержения могли послужить как региональная тектоническая активизация, усилившая доступ подземных вод к в зону прогрева очага Корякского вулкана, так и образование контракционных трещин в сильно закристаллизованной кровле этого очага. За длительный период существования очага вулкана на коровых глубинах неизбежно происходит его остывание по контакту с вмещающими породами с развитием кристаллической корки по его апикали. При достаточной мощности этой корки из-за большой разницы температур ее внешней и внутренней границ возникают термические напряжения, которые приводят к образованию трещин на внешних границах очага. Разница температур отвечает разнице между температурой солидуса магмы и температурой вмещающих пород и составляет сотни °С для очагов, расположенных в коре. Возможно, в корнях Корякского вулкана сложилась ситуация начального (предрудного) этапа образования колчеданного месторождения вулканогенного гидротермально-метасоматического типа по классификации В.И. Смирнова (Смирнов, 1989, с. 191-193). Их формирование объясняется проработкой молодых вулканических пород поднимающимися высокотемпературными богатыми серой флюидами, с опализацией и алунизацией, причем характерными минералами, сопровождающими руду, являются сера, пирит, барит. Схема формирования колчеданного месторождения над остывающим очагом сформулирована в работе (Бернэм, 1982).

Независимо от того, какой из механизмов спровоцировал извержение, представляется, что его вызвало именно образование новых трещин в зоне прогретых пород под вулканом. Сейсмические данные указывают, что такой процесс мог иметь место на глубинах 3-10 км ниже уровня моря (Селиверстов, 2009). На поступление подземных вод в новообразованные трещины в зоне прогрева, окружающей очаг,

указывают высокие температуры газов, порядка 400°C (Гордеев и др., 2009) по сравнению с максимальной температурой 213°C, наблюдавшейся в 1983 г. (Таран, 1985).

В работе (Гордеев, Сеньюков, 1998) в связи с сейсмической активизацией Корякского вулкана описаны особенные гибридные землетрясения. Авторы объясняют их формирование внедрением магмы в ослабленные зоны с последующим развитием трещины. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что особенности этих землетрясений вызваны трещинообразованием под вулканом и кипением поступающих в трещины гидротермальных флюидов.

Как было отмечено, активизации вулкана в историческое время немногочисленны. Из наиболее заметных, кроме извержения в конце 1956 – начале 1957 гг., в литературе отмечены: газо-пепловый выброс с отложением пепла на склонах вулкана в 1926 г., резкое усиление фумарольной деятельности в ноябре-декабре 1945 г., усиление активности после землетрясения в конце 1952, усиление фумарольной деятельности в ноябре – декабре 1954 г. (Маренина и др., 1962; Мелекесцев, 1996; Овсянников, Маневич, 2009). По-видимому, эти активизации имели такую же природу, как и извержение 2008–2009 гг. Извержения 1956-1957 гг. и 2008-2009 гг. по характеру активности, месту ее проявления и характеристикам пеплов очень близки. Основное различие заключается в присутствии ювенильного магматического стекла в пеплах 1957 г., согласно данным работы (Сирин, Тимербаева, 1959). Как уже отмечено выше, возможно, за такое стекло авторы приняли частицы аморфного кремнезема. Этот вопрос остается открытым.

Ранее было отмечено обилие акцессорных минералов в пепле, отобранном в начале марта 2009, и последующее резкое снижение их количества в более поздней порции пепла. Вероятно, эти акцессории входили в состав тонкой инкрустационной корки пневматолитового и гидротермального генезиса и были вынесены со стенок трещин в ходе первых этапов активности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проделанный анализ различных характеристик пеплов извержения Корякского вулкана в 2009 г. позволил сделать вывод о том, что оно непосредственно не связано с магматическими подвижками в вулканическом очаге, а вызвано трещинообразованием прогретых пород в фундаменте вулкана и поступлением подземных вод по ново-

образованным трещинам в зону прогресса. Образование трещин могло быть вызвано как региональной тектонической активизацией, так и термической контракцией закристаллизованной внешней зоны вулканического очага. Возможно, первая причина спровоцировала вторую. Таким образом, активизация Корякского вулкана в 2008-2009 гг. по характеру является гидротермальным извержением. Извержение такого рода не представляло серьезной угрозы населению близлежащих населенных пунктов. Последовавшие в течение 2009 г. события подтвердили полученные выводы о характере активизации вулкана и отсутствии угрозы с его стороны.

С конца апреля до начала августа 2009 г. имела место парогазовая деятельность от слабой до умеренной без примеси пепла. В августе в течение двух недель наблюдался последний всплеск сейсмической и вулканической активности, когда отмечались высокие (до 5 км н.у.м.) парогазовые столбы и протяженные на сотни километров шлейфы с присутствием пепла (Гирина и др., 2011). Постепенно мощность паровых плюмов снижалась, пепловая составляющая в них перестала наблюдаться и к 2010 г. лишь изредка имела место фумарольная активность.

Несмотря на отсутствие угроз сильного разрушительного характера, гидротермальное извержение подобное вышеописанному сопровождается рядом неблагоприятных факторов. В работе (Мелекесцев и др., 2011) в качестве потенциально опасных факторов в связи с данным извержением, наряду со слабыми выбросами и выпадением пеплов, селями и небольшими лахарами, указано на загрязнение свежевывавшей тефрой водотоков, стекающих со склонов вулкана. В дополнение к этим опасным явлениям, сопровождающих извержения такого типа, следует добавить экологически вредное воздействие тончайшей фракции пеплов, составляющей в них значительную долю, на здоровье человека. В последнее время данный фактор вызывает повышенный интерес исследователей (Reich et al., 2009). Нельзя исключить и определенную опасность протяженных пепловых шлейфов для воздушных сообщений, в особенности, учитывая близость к Корякскому вулкану аэропорта Елизово.

Авторы выражают признательность И.В. Мелекесцеву, О.А. Гириной и В.В. Афаньеву за полезные дискуссии, С.В. Ушакову, Т.М. Маневич за предоставленные образцы пеплов, а также А.В. Сокоренко, Е.В. Карташевой, В.М. Округину и Д.С. Бухановой за помощь в работе.

*Андреева Е.Д., Охалкин Н.С.* К минералогии техногенных отложений Мутновского геотермального комплекса (Южная Камчатка) // Планета Земля: актуальные вопросы геологии глазами молодых ученых и студентов. Материалы российской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной «Году Планеты Земля», Москва, 6-7 апреля 2009 г. Изд-во Московского университета, 2009. Т. 3. С. 12-14.

*Аникин Л.П., Вегасова Л.П., Максимов А.П. и др.* Пеплы извержения Корякского вулкана в 2009 г. // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 10-13.

*Базанова Л.И., Сулержицкий Л.Д.* Вулкан Корякский: реконструкция динамики эруптивной деятельности за последние 10-12 тысяч лет // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 22-27 сентября 2009 г. Т. 1. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 269-272.

*Бернэм К.У.* Магмы и гидротермальные флюиды // Геохимия гидротермальных рудных месторождений / Ред. Х.Л. Барнс. М.: Мир, 1982. С. 71-121.

*Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. С. 234.

*Гирина О.А., Коновалова О.А., Маневич А.Г. и др.* Активность вулканов Камчатки в 2009 г. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Современный вулканизм и связанные с ним процессы», 29-30 марта 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 41-49.

*Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др.* Активность вулкана Корякский с октября 2008 г. по октябрь 2009 г. по данным КВЕРТ // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 15-23.

*Гонтовая Л.И., Ризниченко О.Ю., Нуждина И.Н., Федорченко И.А.* Авачинская группа вулканов: глубинное строение и особенности сейсмичности // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Современный вулканизм и связанные с ним процессы», 29-30 марта 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011 г. С. 50-58.

- Гордеев Е.И., Дроздин В.А., Дубровская И.К. и др.* Корякский вулкан – современное состояние и активизация 2008 – 2009 гг. // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 22-27 сентября 2009 г. Т. 2. Петропавловск-Камчатский, 2009. ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 588-590.
- Гордеев Е.И., Сеньюков С.Л.* Сейсмическая активизация вулкана Корякский в 1994 г.: гибридные сейсмические события и их применение для оценки вулканической опасности // Вулканология и сейсмология. 1998. № 4-5. С. 112-126.
- Гущенко И.И.* Состояние Корякского вулкана в апреле – мае 1957 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1959. № 28. С. 21-22.
- Иванов В.В.* О роли подземных вод и газогидротермальной деятельности областей современного вулканизма // Современный вулканизм. Тр. второго Всес. вулканол. совещания. М.: Наука, 1966. Т. 1. С. 174-185.
- Иванов В.В.* Активизация вулкана Корякский (Камчатка) в конце 2008 – начале 2009 гг.: оценки выноса тепла и водного флюида, концептуальная модель подъема магмы и прогноз развития активизации // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 24-38.
- Кирсанов И.Т., Медведева Г.Г., Серафимова Е.К.* Фумарольная деятельность Авачинского и Корякского вулканов // Бюлл. вулканол. станций. 1964. № 38. С. 3-32.
- Кирюхин А.В., Черных Е.В., Рычкова Т.В.* Моделирование гидрогеологических процессов в Корякско-Авачинском вулканогенном бассейне // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога «Современный вулканизм и связанные с ним процессы», 29-30 марта 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011 г. С. 118-126.
- Лебедев Л.М.* Минералы современных гидротерм // М.: Наука, 1979. 200 с.
- Маренина Т.М., Сирин А.Н., Тимербаева К.М.* Корякский вулкан на Камчатке // Тр. лаб. вулканологии. 1962. № 22. С. 57-130.
- Масуренков Ю.П., Пузанков М.Ю., Егорова И.А.* Вулкан Корякский // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. 2. С. 230-240.
- Мелекесцев И.В., Карташева Е.В., Кирсанова Т.П., Кузьмина А.А.* Загрязненная свежесформированной тефрой вода как фактор природной опасности (на примере извержения вулкана Корякский, Камчатка, в 2009 – 2009 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2011. № 1. С. 19-32.
- Мороз Ю.Ф., Гонтовая Л.И.* Глубинное строение района Авачинско-Корякской группы вулканов на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2003. № 4. С. 3-10.
- Набоко С.И.* Современные фации гидротермально измененных пород // Современный вулканизм. Тр. второго Всес. вулканол. совещания. М.: Наука, 1966. Т. 1. С. 129-135.
- Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Об активности вулкана Корякский в исторический период // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 22-27 сентября 2009 г. Т. 2. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 645-648.
- Пузанков М.Ю.* Геохимическая зональность в островной дуге (на примере Авачинского ряда вулканов) // Геохимическая типизация магматических и метаморфических пород Камчатки / Ред. А.П. Кривенко. АН СССР, Сибирское отделение, Институт геологии и геофизики. Новосибирск. 1990. С. 114-127.
- Селиверстов Н.И.* Активизация вулкана Корякский на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2009. № 1. Вып. № 13. С. 7-9.
- Сирин А.Н., Тимербаева К.М.* Извержение Корякского вулкана в начале 1957 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1959. № 28. С. 3-20.
- Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989. 326 с.
- Таран Ю.А.* Фумарольная активность Корякского вулкана в 1983 году // Вулканология и сейсмология. 1985. № 3. С. 82-85.
- Boudon G., Villemant B., Komorowski J.-C. et al.* The hydrothermal system at Soufriere Hills Volcano, Montserrat (West Indies): characterisation and role in the ongoing eruption // Geophysical Research Letters, 1998. V. 25. № 19. P. 3693-3696.
- Reich M., Zuniga A., Amigo A. et al.* Formation of cristobalite nanofibers during explosive volcanic eruptions // Geology, 2009. V. 37. № 5. P. 435-438.

МАКСИМОВ и др.

**ASHES FROM THE 2009 ERUPTION OF KORYAKSKY VOLCANO  
AND DISTINGUISHING FEATURES OF THEIR GENESIS**

**A.P. Maximov, L.P. Anikin, L.P. Vergasova, A.A. Ovsyannikov, V.M. Chubarov**

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

The paper presents results of granulometric, chemical and mineral analysis of ashe from the Koryaksky 2009 eruption. Ash is fine grained with no traces of fresh volcanic glass. There is a wide range of minerals of various genesis: common magmatic minerals, various accessories and minerals of hydrothermal genesis. The article provides the conclusion of mixed genesis of ash and the hydrothermal nature of the volcano activity.

*Keywords: Koryaksky Volcano, ash, hydrothermal eruption.*