



УДК 551.217.24; 549.1; 571.66

Г. А. Карпов, Л. П. Аникин, Г. Б. Флёров, В. М. Чубаров,  
Р. Л. Дунин-Барковский

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

## Минералого-петрографические особенности алмазсодержащих продуктов Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг.

В статье приводятся первые результаты исследований петрографических особенностей лав (потенциальных носителей микроалмазов) и индивидуализированных зёрен самородных металлов, сульфидов и оксидов железа из пеплов и пор в лавах. Выделены две генерации плагиоклаза и оливина в лавах. Сделано предположение о восстановительной среде минералообразования и гибридном происхождении Толбачинской магмы.

### Введение

Трещинное Толбачинское извержение 2012–2013 гг. (ТТИ) уникально по многим параметрам. Во-первых, трещины, по которым произошло извержение, заложились непосредственно на теле вулкана Плоский Толбачик (южный склон), на большой высоте — порядка 2100 м. Во-вторых, лавы этого извержения отличаются и от пород самого вулкана, и от лав предыдущего Большого трещинного Толбачинского извержения 1975–1976 гг. В-третьих, на этом извержении наблюдался уникально — большой расход лавы на начальной стадии извержения, достигавший  $430 \text{ м}^3/\text{с}$ . Но самое главное отличие — продукты этого извержения содержали индивидуализированные кристаллы алмаза.

В настоящей работе мы сообщаем первые результаты минералого-петрографических исследований продуктов извержения.

### Петрографические особенности алмазоносного трахиандезибазальта ТТИ

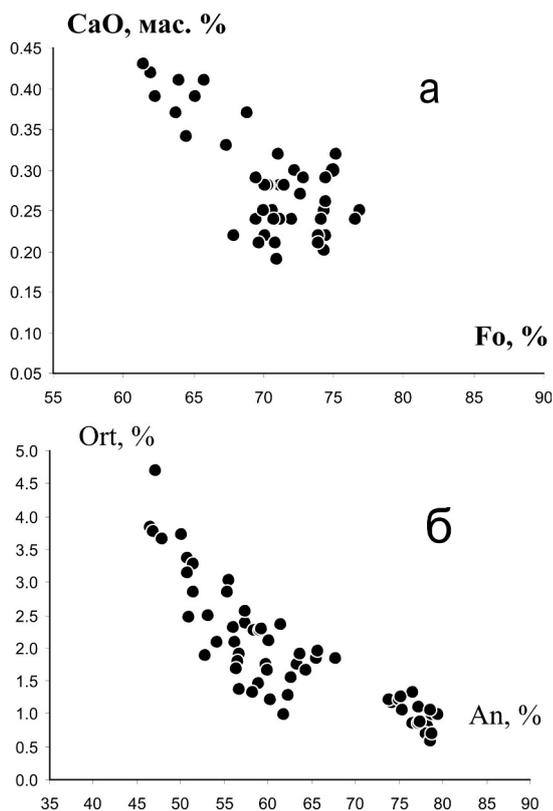
Макроскопически порода представлена субафировой структурой и пористой текстурой. Пористость составляет порядка 20% объёма породы, размер пор от долей миллиметра до 2-х мм. Явных вкраплённых не наблюдается, единично встречаются лейсты плагиоклаза до 1,5 мм. На фоне однородной основной массы выделяются редкие кристаллы плагиоклаза и оливина соответственно размером 0,3–1,0 мм и 0,2–0,3 мм, которые условно можно отнести к первой генерации. Клинопироксен встречается редко. Отмечаются сростки  $\text{Ol} + \text{Pl} + \text{Crx}$ . Основная масса сложена микрокристаллической минеральной ассоциацией, представленной плагиоклазом, оливином, клинопироксеном, титаномагнетитом (где в количественном отношении существенно преобладает плагиоклаз) и матричным стеклом до 30%.

Среди плагиоклазов по составу выделяется две генерации, слагающие дискретные совокупности,

значимо различающиеся по содержанию анортитового минала (рис. 1). Интервалы составов минералов первой генерации —  $\text{An}_{73-80}\text{Ort}_{0,5-1,3}$ . Кристаллы обладают достаточно хорошими кристаллографическими формами, следы коррозии отсутствуют или незначительные. По периферии кристалла отмечается тонкая кайма состава  $\text{An}_{62}\text{Ort}_{1,2}$ , который укладывается в интервал составов второй генерации (рис. 2 в и г, таблица). Примечательно, что стереотипы плагиоклаза высокой основности отмечаются в породах прорыва Меняйлова и в базальтоидах стратовулканов Острого и Плоского Толбачиков.

Плагиоклазы второй генерации представлены составом  $\text{An} - 68-47\%$ , а все оливины в ряду их кристаллизации образуют непрерывный тренд эволюции составов от  $\text{Fo} 77\%$  до  $\text{Fo} 61\%$  (см. рис. 1, 2 а и б, таблица). Для обеих минеральных групп характерна флуктуация содержаний  $\text{CaO}$  в оливинах и ортоклазовой составляющей в плагиоклазах с тенденцией их понижения. Обращает на себя внимание то, что составы с пониженными содержаниями упомянутых компонентов также свойственны минералам, которые являются типичными для пород стратовулканов. Клинопироксены представлены авгитом с коэффициентом магнезиальности 80–82 и 66–70, содержание  $\text{TiO}_2$  в титаномагнетите — 15–17 мас. %. Факт присутствия плагиоклаза высокой основности в данной породе, состав которой соответствует трахиандезибазальту, является парадоксальным. Минералы такого состава характерны для базальтов. На данном этапе исследования можно лишь высказать предположения о признаках гибридности магмы, возможно обусловленного смешением двух магм разной щёлочности в процессе извержения.

Из аксессуарных минералов обнаружены 3 экзотических зёрна торианита в основной массе породы и во включении в оливин. Форма зёрен овальная, размер их менее 10 мкм (рис. 2 г). Кристалл люминесцирует под электронным пучком.



**Рис. 1.** Вариационные диаграммы Fo–CaO в оливинах (а) и An – Ort (б) в плагиоклазах из алмазосодержащего образца Трещинного Толбачинского извержения 2012 г.

**Минералогия продуктов ТТИ**

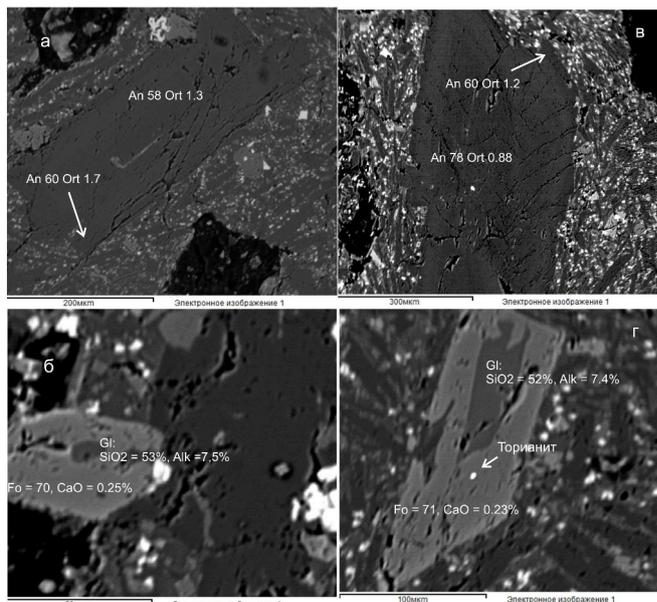
Не менее своеобразна и минералогия продуктов извержения. Мы исследовали, в основном, индивидуализированные частицы, выполнявшие поры в лавах и находящиеся в пеплах, выпавших в начальную стадию извержения. Интересно, что в этих продуктах обнаружилась сходная ассоциация минералов. Основное место в ней занимают самородные металлы – железо, алюминий, медь, а также оксиды железа, корунд. В поровых пространствах обнаружены также единичные зёрна халькозина, муассанита, циркона.

Самородное железо обнаружено и в порах породы (рис. 3), и в пеплах (рис. 4). Его частицы, размером от 60 мкм до 900 мкм имеют своеобразную морфологию. Это, преимущественно, зёрна серповидной, удлинённой формы, со следами течения или скручивания.

Ещё более сложную морфологию имеют зёрна самородного алюминия, содержащего незначительные примеси (рис. 5).

Зёрна самородной меди встречены в порах лавы неоднократно. Часто они содержат примеси никеля (рис. 6).

Как в порах лавы, так и в пеплах начальной стадии этого извержения встречены многочисленные шариковидные зёрна оксидов железа (магнетита?). Эти зёрна имеют своеобразную, как бы фрагментар-



**Рис. 2.** Микроснимок. Минералы из алмазосодержащей породы Трещинного Толбачинского извержения 2012 г.: а и б – плагиоклазы, в и г – оливины с включением стекла.



**Рис. 3.** Самородное железо из пор в трахиандезитбазальте.

Тип результата	Вес %
Название спектра	Спектр 84
Fe	100,00
Сумма	100,00

ную морфологию поверхности (рис. 7, 8). В некоторых из них удалось обнаружить дыры, свидетельствующие о том, что они полые.

В порах лавы встречены также два зёрна, представленные агрегатом почковидных образований сульфида железа (рис. 9).

Как в пеплах, так и в порах лавы часто встречаются изометричные зёрна корунда (рис. 10).

Таблица. Химические составы (мас. %) породы, минералов и стекла включений.

№n/n	порода	1		2		3		4		5		6*		7		8	
		Pl	Ol	Pl	Ol	Pl	Ol	Pl	Ol	Pl	Ol	Pl	Ol	Pl	Ol	Pl	Ol
SiO <sub>2</sub>	52,0	52,41	51,70	47,65	51,67	37,40	37,00	51,91									
TiO <sub>2</sub>	2,03	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	2,49									
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,9	29,61	30,36	33,22	30,13	0,00	0,00	18,64									
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
FeO	0,73	0,62	0,82	0,80	1,16	24,98	25,61	7,28									
MnO	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,41	0,10									
MgO	2,74	0,00	0,00	0,00	0,00	36,76	35,89	1,37									
CaO	8,17	12,09	12,63	15,64	12,45	0,26	0,23	8,57									
Na <sub>2</sub> O	3,94	4,64	4,49	2,56	4,40	0,00	0,00	4,23									
K <sub>2</sub> O	2,12	0,23	0,31	0,10	0,21	0,00	0,00	3,19									
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90									
Sum	99,12	99,60	100,31	99,97	100,24	99,84	99,14	98,68									
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	6,06	—	—	—	—	—	—	7,42									
Ab	—	40,45	38,46	21,08	38,54	—	—	—									
An	—	58,24	59,79	78,05	60,25	—	—	—									
Ort	—	1,32	1,75	0,88	1,21	—	—	—									
Fo	—	—	—	—	—	72,37	71,41	—									

Примечание, 1 — триглицандезибазальт; 1–5 — плагиоклазы; 6, 7 — оливины; 8 — включение стекла в оливин; \* — средний состав оливинов, типичных для породы (20 определений). Составы минералов определены на микрозонде «Сатебах» в ИВиС ДВО РАН.

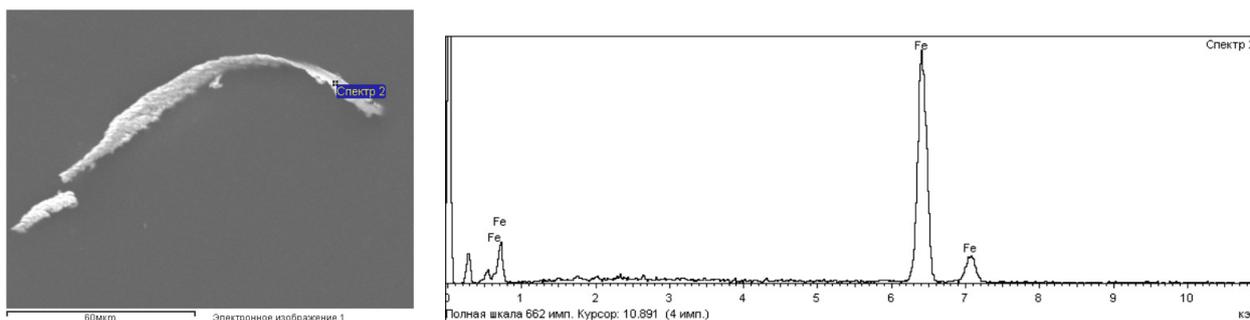
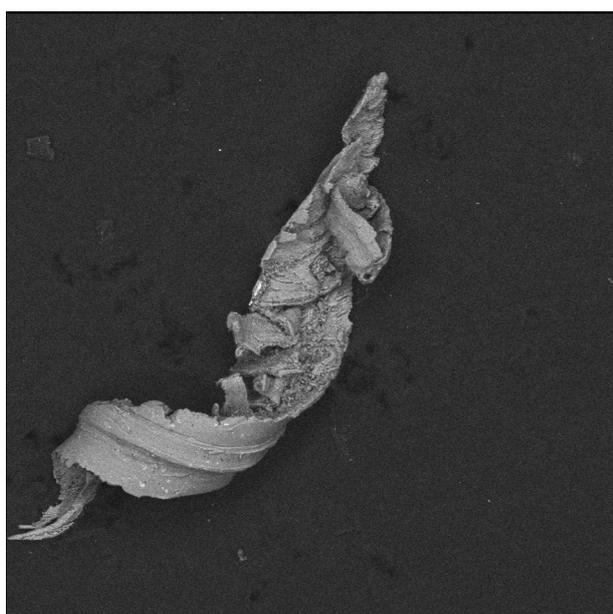
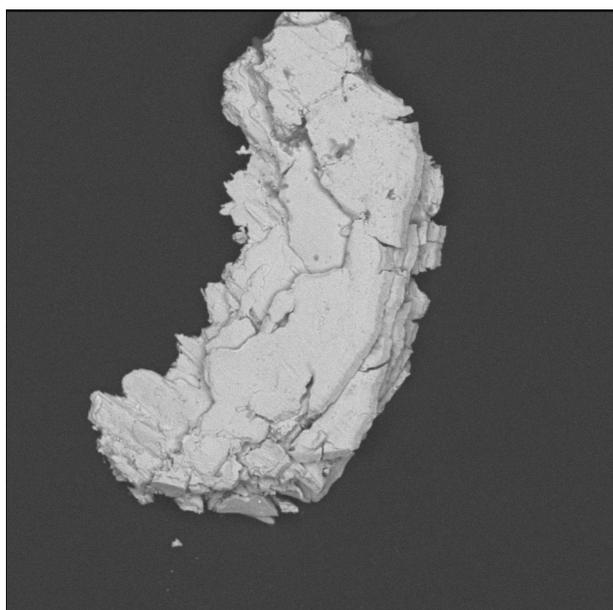


Рис. 4. Самородное железо из пепла ТТИ и его ЭДС.



Тип результата	Вес %	
	Спектр 75	Спектр 76
Название спектра		
O		20,97
Mg	1,44	1,19
Al	94,91	55,12
Si		5,97
Fe		1,69
Cu	3,66	12,10
Sn		2,96
Сумма	100,00	100,00

Рис. 5. Самородный алюминий (с примесью) из пор в трахиандезибазальте.



Тип результата	Вес %
	Спектр 85
Название спектра	
Ni	2,25
Cu	97,75
Сумма	100,00

Рис. 6. Самородная медь (с примесью никеля) из пор в трахиандезибазальте.

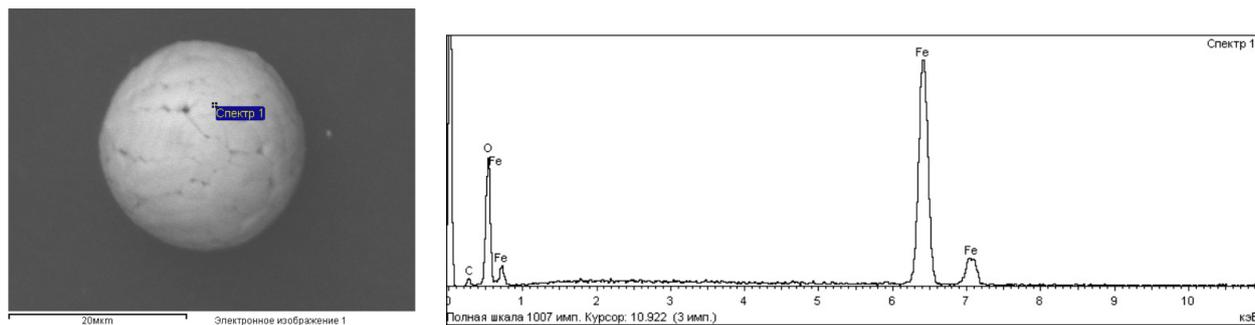
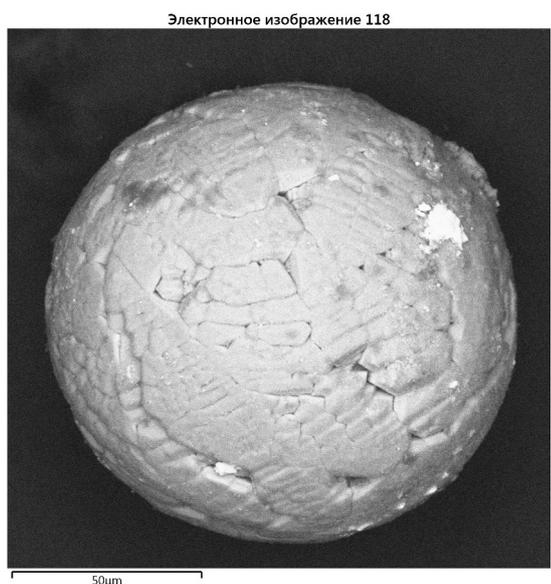
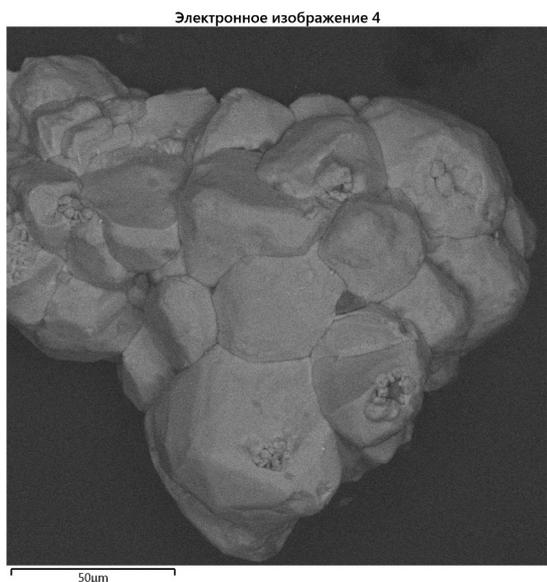


Рис. 7. Шариковидное зерно оксида железа из пепла ТТИ и её ЭДС.



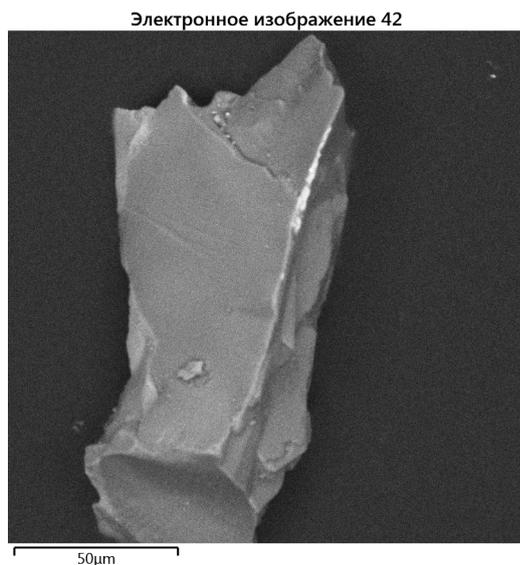
Тип результата	Вес %			
	Спектр 79	Спектр 80	Спектр 81	Спектр 82
Название спектра				
O	31,97	12,21	12,06	35,38
Mg				3,13
Al			1,46	2,72
Si				7,44
S		3,45		2,32
Fe	68,03	11,88	81,54	49,02
Cu		3,34		
As		0,00		
Pb		69,13	4,94	
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00

Рис. 8. Шариковидное зерно оксида железа и её состав из пор в трахиандезибазальте.



Тип результата	Атом. %	
	Спектр 4	Спектр 5
Название спектра		
S	67,99	66,32
Fe	32,01	33,68
Сумма	100,00	100,00

Рис. 9. Почковидный агрегат сульфида железа и его состав из пор в трахиандезибазальте.



Тип результата	Вес %		
	Спектр 90	Спектр 88	Спектр 89
Название спектра			
O	56,23	58,29	55,88
Mg	1,29		0,68
Al	35,80	41,08	34,90
Si			1,39
Ca	3,69		3,70
Ti	1,52		1,77
Fe	0,61		0,82
Cu	0,87	0,63	0,87
Сумма	100,00	100,00	100,00

Рис. 10. Частица корунда и её состав из пор в трахиандезибазальте.

#### Обсуждение результатов исследований и выводы

Материалы наших исследований показывают, что в продуктах начальной стадии Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. преобладали индивидуализированные зёрна самородных металлов — Fe, Al, Cu. Единичными зёрнами представлены сульфиды железа, корунд, карбид кремния, что свидетельствует о восстановительной среде минералообразования.

Полые шарики оксидов железа, по-видимому, образовались как пузыри вещества уже в окислительных условиях атмосферы. Характерно, что

не всегда, но нередко именно с ассоциацией самородных металлов в продуктах этого извержения обнаруживались микроалмазы.

Обращают на себя внимание и петрографические особенности лавы трахиандезибазальтов, в порах которых были обнаружены микроалмазы. Обнаруженные нами свидетельства возможного гибридного происхождения Толбачинской магмы можно рассматривать как показатель участия глубинного вещества в этом уникальном извержении.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта CRDF Global — ДВО РАН (2013–2015) RUG1-7086-РК-13.