

УДК 549.2

## АЛМАЗЫ В ЛАВАХ ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ НА КАМЧАТКЕ

© 2014 г. Академик Е. И. Гордеев, Г. А. Карпов, Л. П. Аникин, С. В. Кривовичев, С. К. Филатов, А. В. Антонов, А. А. Овсянников

Поступило 26.07.2013 г.

DOI: 10.7868/S0869565214020170

В 1975–1976 гг. на Камчатке, в зоне ареального вулканизма, у южного подножия стратовулкана Плоский Толбачик, произошло Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ), изучение которого дало много нового материала по динамике вулканических процессов и петролого-геохимическим характеристикам его продуктов [1].

В ноябре 2012 г. в этом же районе началось новое трещинное извержение, получившее название “Трещинное Толбачинское извержение” [2, 3]. Это извержение с самого начала отличалось уникальными особенностями: во-первых, необычайно высок был расход изверженного материала на первом этапе извержения (до 400 м<sup>3</sup>/с); во-вторых, имела место высокая газонасыщенность и эксплозивность вулканического процесса на первом этапе; в-третьих, в лавах извержения были обнаружены многочисленные кристаллы алмаза. Наибольшую активность проявил эруптивный центр, получивший название “Прорыв С. Набоко” [2], в изверженном материале которого и обнаружены алмазы.

Лавы нового Толбачинского извержения представлены афировыми и субафировыми часто сильнопористыми базальтами с редкими мельчайшими (изредка до 7–10 мм) лейстами плагиоклаза, изометричными зернами оливинов и пироксенов. В разрезах первых лавовых потоков часто хорошо было видно, что перемежаются тонкие зоны базальтов плотной текстуры и более мощные зоны пористых разностей. Поры мелкие (3–5 мм), реже крупнее. Обычно имеют ориентированный уплощенный характер, свидетельству-

ющий о застывании в процессе движения вещества. В первые месяцы извержения химический и минеральный составы базальтов практически не изменялись. В табл. 1 показаны составы лав и пеплов этого извержения и для сравнения дан состав базальтов Большого Трещинного Толбачинского извержения 1975 г. Как видим, лавы этих извержений имеют близкий химический состав. В то же время базальты нового извержения имеют несколько большее количество SiO<sub>2</sub>, чем базальты лавы БТТИ, одинаковое содержание MgO и в них наблюдается существенно более высокий процент Fe. Близки базальты обоих извержений и по геохимии микроэлементов. Однако в пеплах нового извержения отмечается повышенное по сравнению с лавами содержание меди, кобальта, галлия. В качестве единичных зерен в лавах (а чаще всего непосредственно в порах) присутствуют гранат, муассанит, корунд, несколько чаще встречаются самородные элементы – Fe, Al, Cu. В пеплах обнаружены самородные Zn, Sb, иногда в смеси с Cu. В этих случаях в зернах всегда имеется примесь вулканического стекла.

Кристаллы алмаза нашли Л.П. Аникин и А.А. Овсянников в пробах лавы, отобранных ими в январе 2013 г. в трех местах на фронте лавового поля, в 4–6 км от истока лавы из “Прорыва С. Набоко”. Кристаллы были обнаружены в материале пористых шлаковидных лав базальта. Кроме того, два кристалла бесцветного алмаза нашел Г.А. Карпов в начале февраля 2013 г. в массе мелкой пирокластики (пепел, шлак, лапилли), выпавшей непосредственно в 100–120 м от жерла “Прорыва С. Набоко”. Всего в лавах извержения отобрали около 700 зерен бесцветных и зеленоватых алмазов.

Кристалломорфология зерен алмаза изучена во ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского с использованием электронного микроскопа модели MX 2500 фирмы “CamScan” с энергодисперсионным спектрометром Link Pentafet. Размеры кристаллов 50–200 мкм. Кристаллы, как правило, – комбинация куба и октаэдра, иногда ромбододекаэдра (рис. 1).

*Институт вулканологии и сейсмологии  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Петропавловск-  
Камчатский  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А.П. Карпинского,  
Санкт-Петербург*

На гранях октаэдра наблюдаются характерные ямки травления (рис. 1). Встречаются двойники по {111} (рис. 1). Для одного зерна на поверхности обнаружены примазки сплава Cu и Sb.

Рентгендифракционные исследования проводили в Ресурсном центре рентгендифракционных методов СПбГУ на дифрактометрах STOE IPDS II (система с рентгеночувствительной пластиной с оптической памятью) и Bruker APEX DUO (детекторы с зарядовой связью (CCD) с использованием MoK $\alpha$ -излучения. Съемку на STOE IPDS II проводили в режиме сканирования по  $\omega$  с шагом 2° и экспозицией 1 мин. Всего было получено 180 дифракционных картин. Индексирование и определение параметров показали характерную алмазную ячейку, пространственная группа  $Fd-3m$ ,  $a = 3.574(3) \text{ \AA}$ ,  $V = 45.63(8) \text{ \AA}^3$  (рассчитано МНК по 788 рефлексам). При этом реконструированное сечение обратного пространства плоскостью ( $-110$ ) (рис. 2) показало наличие рефлексов с дробными индексами. Эти рефлекссы образуют вытянутые вдоль направления (111) пары с целочисленными рефлекссами. Такая дифракционная картина характерна для кристаллов алмаза, сдвойникованных по плоскости (111) [4], что подтверждает данные кристалломорфологического анализа.

Вулканизм и сейсмичность – основные индикаторы глубинных геодинамических процессов на планете Земля. По современным представлениям наличие в центре Земли огромного жидкого железоникелевого ядра, насыщенного водородом, обусловило существование мощного флюидного, в основном, по-видимому, водородного и углеводородного потока вещества, т.е. давления, которое вызывает интенсивную эндогенную активность Земли на протяжении всей истории ее геологического развития [5]. Наиболее динамически активны зоны сочленения “континент–океан”, где параллельно зонам субдукции формируются вулканические дуги с преимущественно базальтовым типом магматизма. Курило–Камчатская вулканическая дуга в настоящее время является наиболее активной в вулканическом и сейсмическом отношении. Здесь геофизическими методами на разных глубинах обнаружены флюидонасыщенные участки, интерпретируемые как магматические очаги. Считается, что вулканы, извергающие базальтовые лавы, питаются из мантийных магматических очагов [6, 7]. В продуктах извержений вулканов, связанных с этими очагами, в последнее время довольно часто обнаруживаются самородные металлы – Fe, Al, Cu, Zn, Sb, Au, а также углеродсодержащие минералы – муассанит, когенит [8–11]. Находка алмазов в свежих лавах Толбачинского извержения дополняет этот ряд самородных элементов.

Обнаружение многочисленных зерен алмаза в свежих продуктах базальтового извержения действующего вулкана можно рассматривать как

**Таблица 1.** Состав лав базальтов и пепла “Прорыва С. Набоко” и лавы БТТИ

Компонент	АТ-6, %	7340-1, %	АТ-7, %	Предел обнаружения
SiO <sub>2</sub>	51.70	53.75	50.80	
TiO <sub>2</sub>	2.15	1.78	1.81	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.30	16.50	15.30	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.90	4.08	12.00	
FeO	0.39	6.11	0.24	
CaO	8.64	7.37	9.43	
MnO	0.19	0.164	0.17	
MgO	3.10	3.31	3.51	
Na <sub>2</sub> O	3.54	3.79	3.62	
K <sub>2</sub> O	2.13	1.95	1.84	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.56	0.472	0.47	
nnn	0.20	0.53	0.30	
Сумма	99.80	99.8060	99.49	
S	<0.01	0.0171	0.11	
Cl		0.0727		
Элемент	АТ-6 (PPM)	7340-1 (PPM)	АТ-7 (PPM)	(PPM)
Sc	33	31	33	1.5
V	385	328	352	1.6
Cr	338	21	475	2.8
Ni	27	21	69	1.6
Cu	266	363	261	2.1
Zn	130	119	112	1.6
As	4	<	<	2.3
Rb	73	71	56	0.8
Sr	316	330	332	0.8
Y	51	59	42	0.9
Zr	302	304	236	1.4
Nb	8	10	6	0.9
Mo	<	2	<	3
Ba	670	666	553	4.9
La	20	24	20	4.5
Ce	53	51	49	4.6
Pb	26	15	16	1.4
Th	6	2	6	1.2
U	2	<	4	1.5
Bi	<		<	
Te	8		61	
Sm	83		65	
Re	39		30	
Au	<		<	
Pt	3		31	
Co		108		
Ga		33		

Примечание. АТ-6 – лавовый поток от Прорыва С. Набоко (09.12.2012 г.); 7340-1 – пепел извержения, Прорыв С. Набоко (27.11.2012 г.); АТ-7 – поток лавы БТТИ, Северный прорыв (1975 г.).

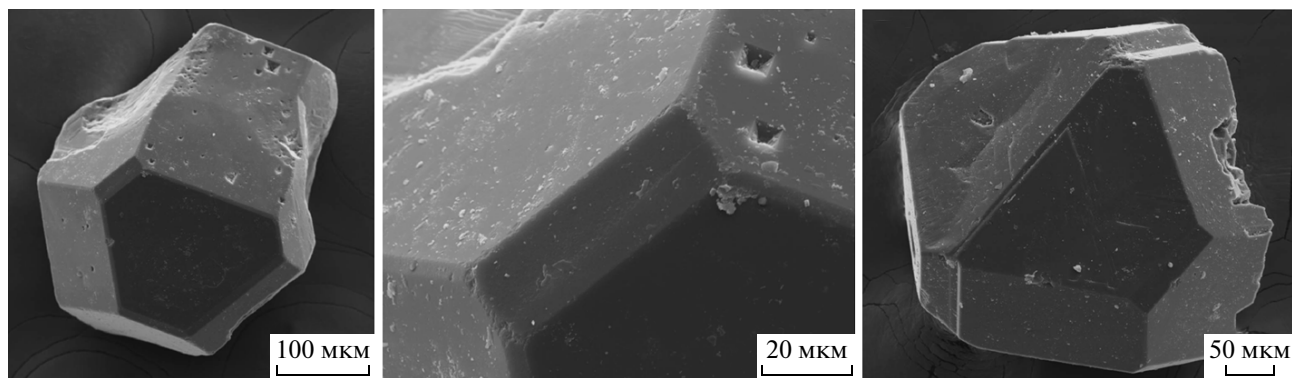


Рис. 1. Фотографии кристаллов алмаза из лав Трещинного Толбачинского извержения, полученные при помощи сканирующего электронного микроскопа.

свидетельство его мантийного питания. По нашим наблюдениям, алмазообразование происходило на раннем этапе извержения, для которого были характерны мощные выбросы газо-пирокластического материала на высоту более 250 м. Кристаллографические данные и рентгенодифракционные исследования толбачинских углеродных образований позволили констатировать характерные для алмаза параметры, в том числе пространственную группу  $Fd\bar{3}m$  и кубическую ячейку с ребром  $a = 3.574(3)$  Å. Такое массовое (сотни зерен) образование алмазов в продуктах

деятельности вулкана обнаружено впервые в мире. Исключительно интересный вопрос о генезисе описанных алмазов требует проведения дополнительных исследований, которые выполняются в настоящее время Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН на продолжающемся Толбачинском извержении.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (13–05–00684; 11–05–00572).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка. 1975–1976. М.: Наука, 1984. 637 с.
2. Gordeev E.I., Muravyov Ya.D., Samoylenko S.B., Volynets A.O., Melnikov D.V., Dvigalo V.N., Melekestsev I.V. // Bull. Volcanol. Soc. Jap. 2013. V. 58. № 2. P. 1–8.
3. Самойленко С.Б., Мельников Д.В., Магуськин М.А., Овсянников А.А. // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. В. 20. С. 20–22.
4. Titkov S.V., Krivovichev S.V., Organova N.I. // Mineral. Mag. 2012. V. 76. P. 143–149.
5. Маракушев А.А., Маракушев С.А. В кн.: Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений. М.: Геос, 2011. С. 42–68.
6. Федотов С.А. В кн.: Большое трещинное Толбачинское извержение. М.: Наука, 1984. С. 537–575.
7. Набоко С.И., Золотарев Б.П., Карнов Г.А., Ероцев-Шак В.А., Артамонов А.В. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С. 5–23.
8. Вергасова Л.П., Горская М.Г., Филатов С.К., Сорокин Н.Д. // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 75–79.
9. Главатских С.Ф., Генералова М.Е. // ДАН. 1996. Т. 346. № 6. С. 796–799.
10. Серафимова Е.К., Филосифова Т.М. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 48–52.
11. Карнов Г.А., Мохов А.В. // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 19–35.

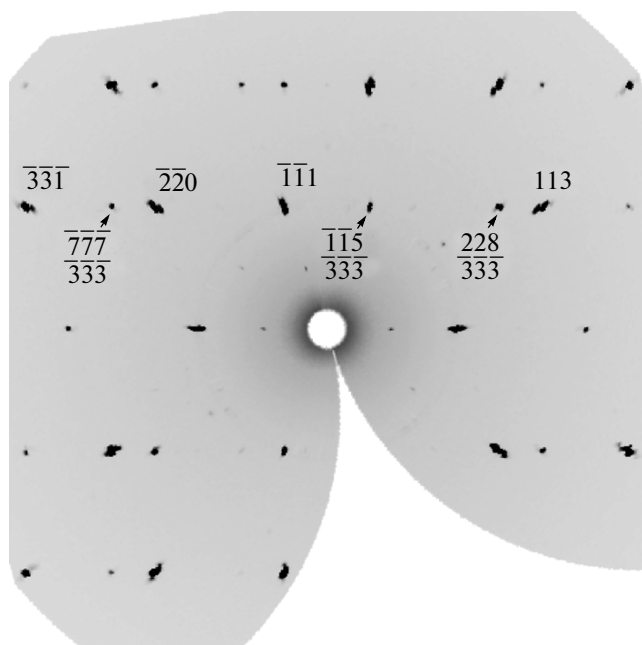


Рис. 2. Реконструированное сечение  $(-110)$  обратного дифракционного пространства кристалла алмаза из лав Трещинного Толбачинского извержения. Стрелки указывают рефлексы с нецелочисленными индексами, кратными  $1/3$ ; наличие рефлексов — следствие двойникования кристалла алмаза по плоскости  $(111)$ .