

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.И. 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 бесцветных и зеленоватых около 700 зерен 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 мк. Кристаллы, как правило, – комбинация куба и октаэдра, иногда ромбододекаэдра (рис. 1). На гранях октаэдра наблюдаются характерные ямки

*Институт вулканологии и сейсмологии  
Дальневосточного отделения  
Российской Академии наук, Петропавловск-  
Камчатский*

*Санкт-Петербургский государственный университет  
Всероссийской научно-исследовательский геологический  
институт им. А.П. Карпинского,  
Санкт-Петербург*

**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.).

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 рентген-дифракционных 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. Съёмке 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 показало характерную алмазную ячейку, пространственная группа  $Fd\bar{3}m$ ,  $a = 3.574(3) \text{ \AA}$ ,  $V = 45.63(8) \text{ \AA}^3$  (рассчитано МНК по 788 рефлексам). При этом реконструированное сечение обратного пространства плоскостью ( $-110$ ) (рис. 2) показало наличие рефлексов с дробными индексами. Эти рефлексы образуют вытянутые вдоль направления (111) пары с целочисленными рефлексами. 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 отношениях. 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 свидетельство его мантийного питания. По на-

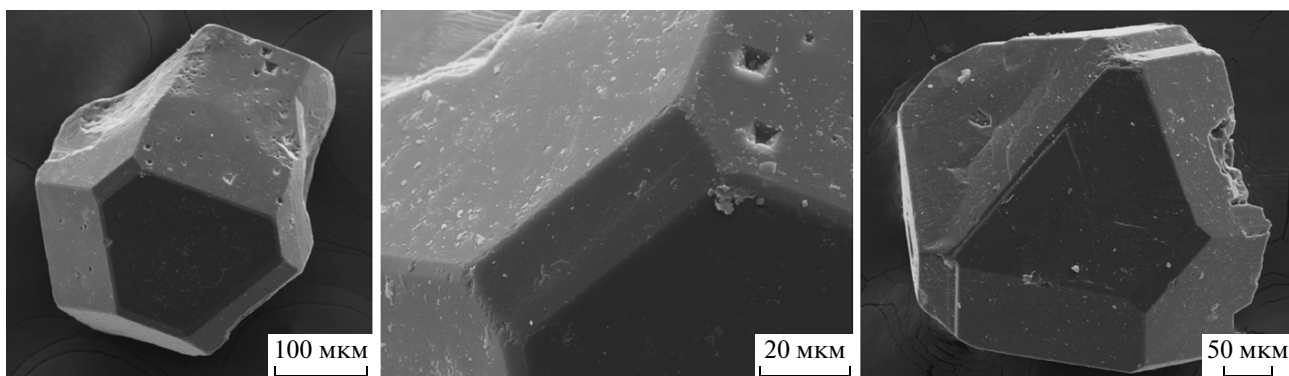


Рис. 1. Фотографии кристаллов алмаза из лав Трещинного Толбачинского извержения, полученные при помощи сканирующего электронного микроскопа.

шим наблюдениям, алмазообразование происходило на раннем этапе извержения, для которого были характерны мощные выбросы газо-пирокластического материала на высоту более 250 м. Кристаллографические данные и рентгендифракционные исследования Толбачинских углеродных образований позволили констатировать характерные для алмаза параметры, в том числе пространственную группу  $Fd\bar{3}m$  и кубическую ячейку с ребром  $a = 3.574(3) \text{ \AA}$ . Такое массовое (сотни зерен) образование алмазов в продуктах деятельности вулкана обнаружено впервые в ми-

ре. 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., Samoilenko 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. Самоilenко 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., Карпов 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., Философова Т.М. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 48–52.
11. Карпов Г.А., Мохов А.В. // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 19–35.

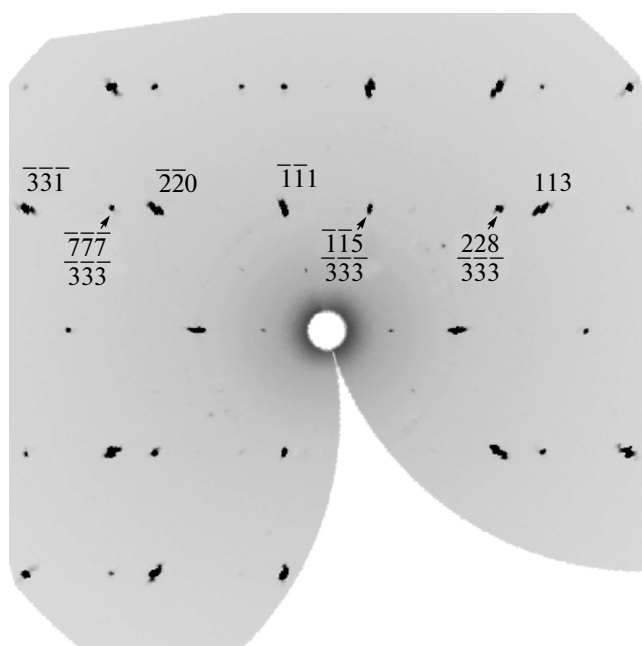


Рис. 2. Реконструированное сечение  $(-110)$  обратного дифракционного пространства кристалла алмаза из лав трещинного Толбачинского извержения. Стрелки указывают рефлексы с нецелочисленными индексами, кратными  $1/3$ ; наличие рефлексов — следствие двойникования кристалла алмаза по плоскости  $(111)$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