



АЛМАЗ И ДРУГИЕ АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ В ПРОДУКТАХ ИЗВЕРЖЕНИЯ 2008–2009 гг. КОРЯКСКОГО ВУЛКАНА (КАМЧАТКА)

Л. П. Аникин¹, В. И. Силаев², В. М. Чубаров¹, В. А. Петровский², Л. П. Вергасова¹,
Г. А. Карпов¹, А. В. Сокоренко¹, А. А. Овсянников¹, А. П. Максимов¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский; alp@kscnet.ru

²Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; silaev@geo.komisc.ru

В статье приведены новые данные об акцессорных минералах в пеплах, образовавшихся при фреатическом извержении вулкана Корякский в 2008–2009 гг. Охарактеризованы формы выделения, состав и свойства гранатов, корунда и дельталюмита, муассанита, сульфидов таллия, муассанита, самородных металлических и углеродных фаз, включая алмаз, а также предположительно абиогенных конденсированных органических соединений. Особенностью корякских алмазов является очень мелкий размер и кубический габитус, что может свидетельствовать об их кристаллизации из газовой фазы в условиях значительных пересыщений по углероду. Обнаружения в пеплах на Корякском вулкане разнообразных по форме и цвету частиц и нитей конденсированных органических соединений подтверждает ранее сделанный вывод о систематическом неорганическом синтезе на современных вулканах достаточно высокоорганизованных предбиологических форм органического вещества.

Ключевые слова: Камчатка, вулкан Корякский, пеплы, акцессорные минералы, алмаз, органические соединения.

DIAMOND AND OTHER ACCESSORY MINERALS IN THE PRODUCTS OF THE 2008-2009 PHREATIC ERUPTION OF KORYAKSKY VOLCANO, KAMCHATKA

L. P. Anikin¹, V. I. Silaev², V. M. Chubarov¹, V. A. Petrovsky², L. P. Vergasova¹,
G. A. Karpov¹, A. V. Sokorenko¹, A. A. Ovsyannikov¹, A. P. Maximov¹

¹Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky.

²Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktывkar

The paper provides new data related to the accessory minerals found in ashes from phreatic eruption of Klyuchevskoy volcano in 2008–2009. We characterized form of extraction, composition and specific features of garnet, corundum, deltalumene, muassonite, sulfide thallium, native metal and carbon phases including micro-diamond, and also likely abiogenic condensed organic compound. A feature of the Koryak diamonds is a very small size and a cubic habit, which may indicate their crystallization from the gas phase under conditions of significant super saturation along the carbon. The detection of various particles and filaments of condensed organic compounds in the form and color in the ash of the Koryak volcano confirms the previous conclusion about systematic inorganic synthesis of highly organized prebiological forms of organic matter in modern volcanoes.

Keywords: Kamchatka, Koryaksky volcano, ashes, accessory minerals, diamond, organic compounds.

*Посвящается светлой памяти известного российского
минералога-вулканолога и экспериментатора
Ромуальда Львовича Дунина-Барковского*

Введение

Вулкан Корякский — наиболее высокое (абс. высота 3456 м) вулканическое сооружение в пределах Авачинской группы вулканов, расположенной в непосредственной близости от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово. Как считается, извержение Корякского вулкана в 2008–2009 гг. (рис. 1) было результатом выброса через трещины в фундаменте вулкана флюидизированных на глубине коровых подземных вод. Именно поэтому активизацию Корякского вулкана в 2008–2009 гг. относят к фреатическому или гидротермальному типу извержений [14].

Объекты и методы исследований

Нами были исследованы четыре пробы фреатической тейфры. Проба № 1 была отобрана 4.03.2009 г. в двух километрах от эруптивной трещины на северо-восточном склоне вулкана (рис. 2, точка 1), три другие пробы (№ 4, 4а и 4б) были отобраны 31.07.2009 г. на северо-западном склоне. Проба № 4 с края трещины содержала большое количество пирита и имела сильный специфический запах серы. Места проб № 4 и 4б располагались в 10 и 20 м от трещины, и по составу эти пробы оказались близкими к пробе № 1. Образцы предварительно отмывались от пыли,

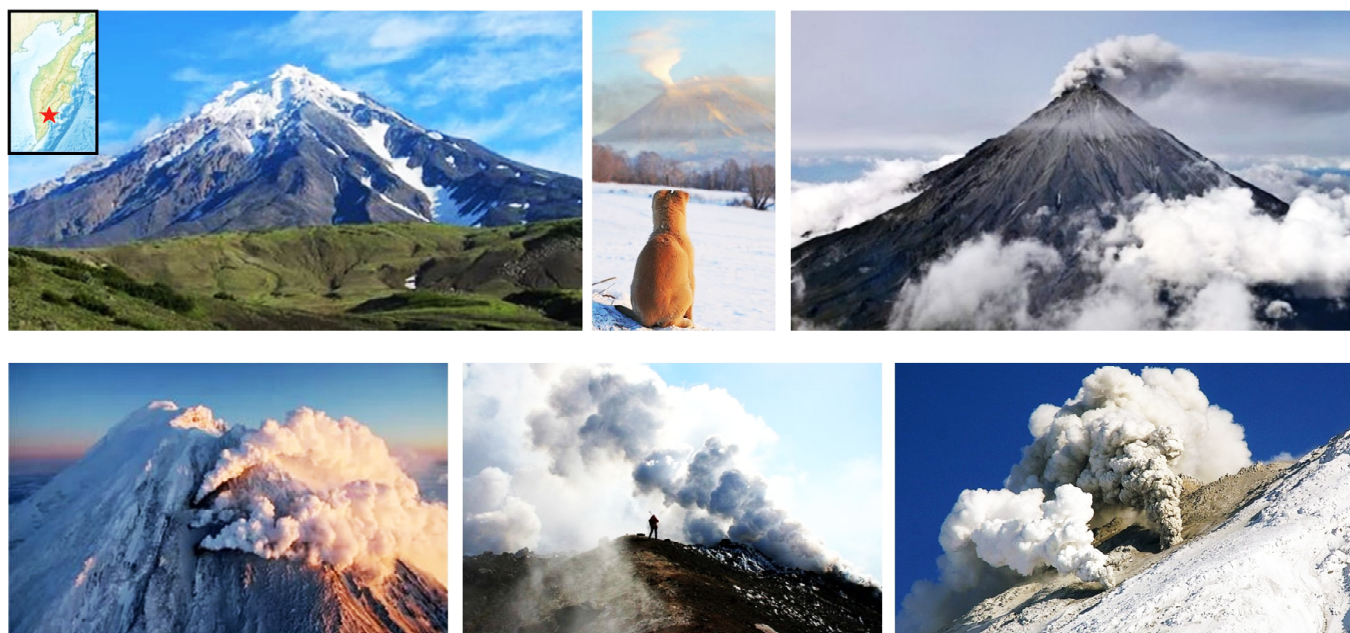


Рис. 1. Фреатическое извержение вулкана Корякский в 2008—2009 гг. На врезке — географическое положение вулкана

Fig. 1. The phreatic eruption of Koryak volcano in 2008—2009. Inset — geographic position of Volcano

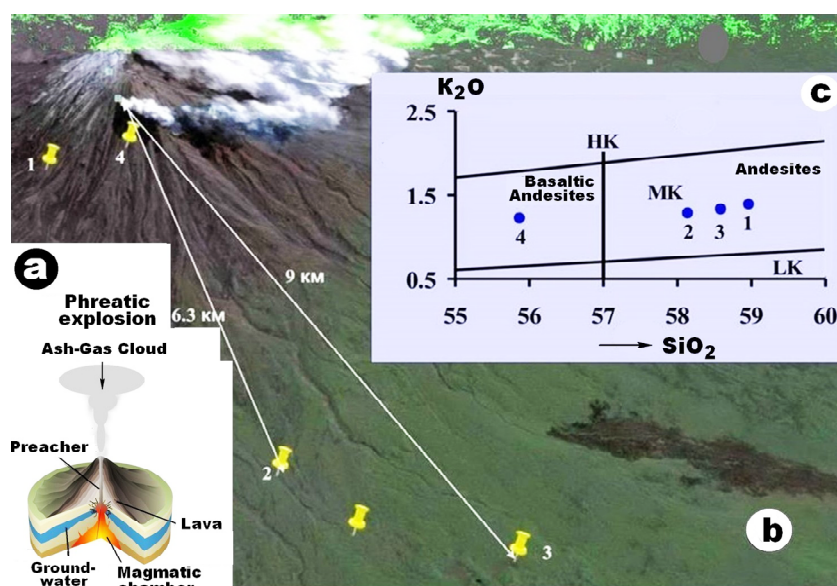


Рис. 2. Принципиальная схема фреатического взрыва (а), схема расположения участков опробования (б, стрелки указывают расстояния точек отбора от центра извержения) и валовый химический состав исследуемых образцов (с). LK, MK, HK на диаграмме K_2O-SiO_2 — поля соответственно низко-, средне- и высококальциевых андезибазальтов и андезитов. Фрагменты б и с по [14]

Fig. 2. The schematic diagram of the phreatic explosion (a), the scheme of the location of the sampling sites (b, arrows indicate the distances of the points of extraction from the center of the eruption) and the total chemical composition of the samples under study (c). LK, MK, HK in the K_2O-SiO_2 diagram, respectively, of the low-, medium- and high-potassium basaltic andesites and andesites. Fragments b and c by [14]

просушивались, расситовывались на гранулометрические классы, подвергались разделению в бромформе с плотностью 2.8 г/см^3 , а затем исследовались под микроскопом МПСУ-1 с отбором монофракций. Проба № 4, содержащая большое количество пирита и серы, сразу расситовывалась и просматривалась под биноклем.

Исследование минералов в тефре осуществлялось с использованием аналитического сканирующего электронного микроскопа Teskan VEGA 3 с ЭД-спектрометром «Х-МАХ 80» и рентгеноспектрального микрозондового анализатора «САМЕВАХ» в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (аналитик В. М. Чубаров).

Первые результаты исследования пеплов корякского фреатического извержения были получены к 2011 г. [1, 14]. После находок алмазов в продуктах ТТИ-50 [2, 3, 5, 7, 10, 11, 19] было решено провести дополнительное изучение и пеплов с Корякского вулкана. Главной целью этих

исследований было продолжение поиска алмазов в корякских вулканитах, начавшегося еще до открытия толбачинских алмазов. В ходе новых исследований в пеплах была выявлена широкая ассоциация порообразующих и акцессорных минералов, что дает возможность сопоставления продуктов фреатического извержения Корякского вулкана с материалом извержений других камчатских вулканов.

Обнаруженные нами в пеплах Корякского вулкана минералы можно подразделить на шесть групп: 1) порообразующие силикаты и алюмосиликаты; 2) безводные оксиды; 3) кислородные соли; 4) сульфиды; 5) самородные фазы; 6) углеродные минералы, фазы и конденсированные органические соединения. Очевидно, что такая ассоциация минералов, фаз и соединений является гетерогенной, включая продукты принципиально разных процессов фазо- и порообразования.



Породообразующие алюмосиликаты и силикаты — гранаты, плагиоклазы, орто- и клинопироксены, оливин, титанит, циркон и некоторые другие минералы — имеют, очевидно, разное происхождение. Частично они представляют магматические и метаморфические породы кристаллического фундамента, в другой своей части имеют вулканоматматическую и фреатогидротермальную природу.

Одним из наиболее характерных минералов рассматриваемой группы является *циркон*. Из 100 г пепла пробы № 1 было выделено более 150 его зерен, которые по форме и окраске подразделяются на четыре генерации, разных возрастов которых подтвержден результатами изотопного датирования. К первой генерации относятся бесцветные удлиненно-призматические кристаллы; ко второй — розовые удлиненно-призматические индивиды; к третьей — бесцветные изометрично-каплевидные формы; к четвертой — сиреневые, округлые, без отчетливо видимых граней зерна. Возраст наиболее древних цирконов достигает 3.3 млрд лет [23]. Очевидно, что источник таких цирконов — метаморфические породы кристаллического фундамента.

Гранаты характеризуются большим разнообразием форм, окрасок и широкой вариацией состава (см. табли-

цу). По совокупности свойств их можно подразделить на три группы. К первой группе мы относим изометричные зерна розового цвета и почти бесцветные осколки пироп-альмандина с примесью гроссуляра или андрадита до 8 мол. % и спессартина до 1 мол. %. Во вторую группу объединяются розовые зерна альмандин-гроссуляра с примесью андрадита до 0.5 мол. %. Третью группу образуют зерна кремового и желтовато-кремового цвета андрадита и гроссуляра-андрадита с примесями альмандина до 1.5 мол. %. Мы предполагаем, что источником гранатов первой группы (пироп-альмандин) выступили упомянутые выше метаморфиты кристаллического фундамента. Известно, что в пеплах ТТИ-50 были также обнаружены зерна аналогичного пироп-альмандина с хорошо проявленной грануляционной структурой, указывающей на сильные пластические деформации (рекристаллизацию). Гранаты второй и третьей групп мы склонны отнести к непосредственным продуктам кристаллизации из достаточно высокотемпературных (850—600 °C) фумарол-флюидов, как это трактовал И. В. Чаплыгин на вулкане Кудрявом, о. Итуруп [22].

Оксиды также представлены широкой ассоциацией минералов: шпинелиды, ильменит, рутил, корунд, дель-

Химический (мас. %) и минеральный (мол. %) состав гранатов из тephры Корьякского вулкана
Chemical (mass %) and mineral (mole %) composition of garnets from tephra of the Koryak volcano

Компоненты, минералы Components, minerals	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	49.41	35.55	37.06	31.90	39.24	34.90	38.26	38.61	38.27
TiO ₂	Не обн. n/d	Не обн. n/d	0.60	0.03	0.01	Не обн. n/d	0.03	Не обн. n/d	0.02
Al ₂ O ₃	«	0.35	6.43	7.87	25.14	«	22.11	22.06	21.54
Fe ₂ O ₃	3.73	30.10	20.69	21.02	Не обн. n/d	32.28	Не обн. n/d	Не обн. n/d	1.21
FeO	Не обн. n/d	0.27	1.06	0.33	11.44	1.10	31.87	31.62	14.76
NiO	«	Не обн. n/d	Не обн. n/d	Не обн. n/d	Не обн. n/d	Не обн. n/d	0.02	Не обн. n/d	Не обн. n/d
MnO	«	«	«	«	«	«	0.43	0.37	«
MgO	0.04	0.04	0.03	0.03	0.01	«	5.94	6.05	«
CaO	46.82	33.68	34.13	38.81	24.15	31.72	1.34	1.28	24.19
K ₂ O	Не обн. n/d	0.01	Не обн. n/d	0.01	0.01	Не обн. n/d	Не обн. n/d	0.01	0.01
Волластонит / Wollastonite	100	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Нет / No
Пироп / Pyrope	Нет / No	0.4	«	«	«	«	22.9	23.5	«
Гроссуляр / Grossular	«	1.0	31.2	47.6	61.5	Нет / No	8.0	Нет / No	65.1
Спессартин / Spessartine	«	Нет / No	Нет / No	Нет / No	Нет / No	«	1.0	0.6	Нет / No
Альмандин / Almandine	«	«	«	2.2	38.5	1.7	68.1	67.8	34.4
Андрадит / Andradite	«	98.6	67.3	50.2	Нет / No	98.3	Нет / No	8.1	0.5
Шорломит / Shorlomite	«	Нет / No	1.5	Нет / No	«	Нет / No	«	Нет / No	Нет / No
Минералы / Minerals	Волластонит / Wollastonite	Андрадит / Andradite	Гроссуляр-андрадит / Grossular-andradite	Гроссуляр-андрадит / Grossular-andradite	Альмандин-гроссуляр / Almandine-grossular	Андрадит / Andradite	Пироп-альмандин / Pyrope-almandine	Пироп-альмандин / Pyrope-almandine	Альмандин-гроссуляр / Almandine-grossular

Примечание: Данные приведены к 100 %. Минералы: 1 — волластонит; 2—9 — гранаты.

Note: Data reduced to 100%. Minerals: 1 — wollastonite; 2—9 — garnets.

Эмпирические формулы (Empirical formulas):

- 1 — Ca_{0.96}[(Si_{0.95}Fe³⁺_{0.05}O₃);
- 2 — (Ca_{2.97}(Mg,K)_{0.01})_{2.98}(Fe_{1.97}Al_{0.03})₃[Si₃O₁₂];
- 3 — Ca_{3.08}(Fe_{1.38}Al_{0.64}Ti_{0.01})_{2.03}[Si₃O₁₂];
- 4 — (Ca_{2.94}Fe_{0.05})_{2.99}(Fe_{1.25}Al_{0.75})₂[Si₃O₁₂];
- 5 — (Ca_{1.98}Fe_{0.73})_{2.71}Al_{2.26}[Si₃O₁₂];

- 6 — (Ca_{2.78}Fe_{0.05})_{2.83}Fe₂[Si₃O₁₂];
- 7 — (Fe_{2.08}Mg_{0.70}Ca_{0.11}Mn_{0.03})_{2.92}Al_{2.04}[Si₃O₁₂];
- 8 — (Fe_{2.05}Mg_{0.71}Ca_{0.11}Mn_{0.02})_{2.89}(Al_{1.99}Fe_{0.01})₂[Si₃O₁₂];
- 9 — (Ca_{2.03}Fe_{1.03})_{3.06}(Al_{1.93}Fe_{0.01})_{1.94}[Si₃O₁₂].



таллюмит, оксид таллия. К хромшпинелидам относятся хромсодержащий *герцинит* и *хромит* с содержанием Cr_2O_3 62–65 мас. %. Как известно, именно такие хромиты характерны для ультрамафитов и встречаются в виде включений в мантийных алмазах [21]. Кроме того, в исследуемой тефре встречается *титанистый магнетит* состава $(\text{Fe}_{0.92-1}\text{Mg}_{0-0.06}\text{Cu}_{0-0.02})(\text{Fe}_{1.25-1.27}\text{Ti}_{0.72-0.75}\text{V}_{0-0.01})_2\text{O}_4$. По минимальному составу он является магнетит-ульвитом с небольшой примесью кулсонита (мол. %): ульвит 72–74, магнетит 17.5–28, кулсонит до 1. Этот минерал наблюдается в виде округлых, как бы «оплавленных» зерен с удлиненно-призматическими включениями циркониево-силикатной фазы, близкой по стехиометрии к $\text{Zr}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (рис. 3, а).

Широко распространенным в исследуемых пеплах является *корунд*. Нами было выделено более 50 его кристаллов синего цвета, что, скорее всего, обусловлено примесью титана [10, 11]. Для таких кристаллов характерны хорошая огранка и пластинчатый облик, нередко индивиды корунда срастаются с образованием микрокристал-

лических агрегатов (рис. 3, б). Кроме обычного корунда в пеплах обнаружены изометричные формы молочно-белого цвета, отвечающие по химическому составу корунду (рис. 3, с). Такой «молочно-белый корунд» был ранее выявлен в продуктах ТТИ-50 [3]. Исследования показали, что этот минерал в действительности является не корундом, а тетрагональной модификацией Al_2O_3 , получившей при регистрации название *дельталюмит* [24]. По нашему мнению, и корунд, и дельталюмит образовались из газовой фазы при температуре 500–800 °С.

Рутил в пеплах Корякского вулкана присутствует в виде многочисленных (до сотни знаков) удлиненных и окатанных в разной степени индивидов рубинового или буровато-красного, изредка черного цвета. Кроме того, он наблюдается в виде микроагрегатов сросшихся тонких иголок и пластинок, на которые нарастает фаза предположительно оксида таллия (рис. 4). Мы предполагаем, что агрегаты рутила и таллиевая фаза образовались при кристаллизации из газовой фазы.

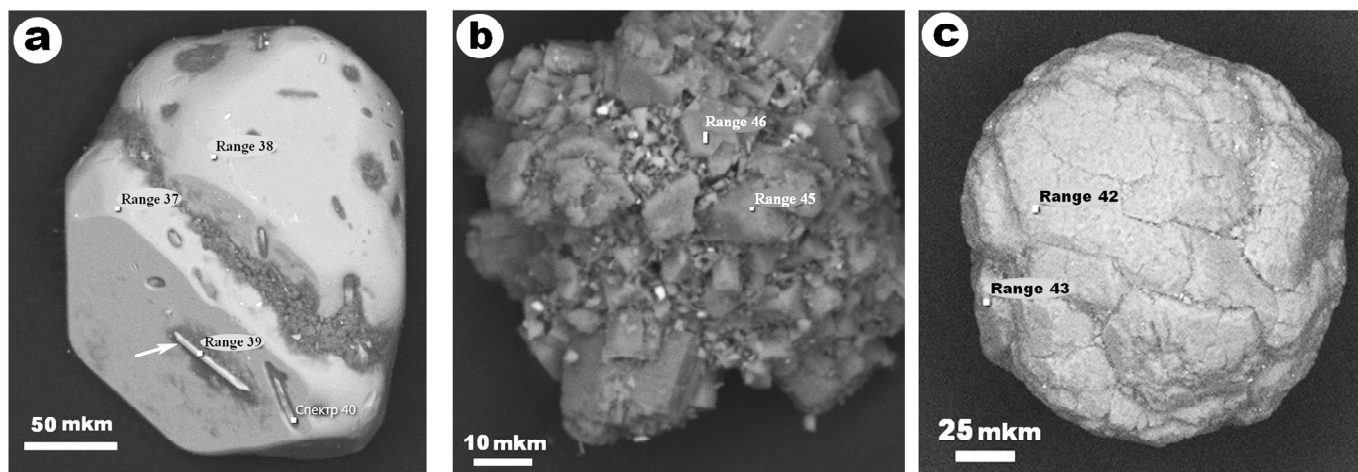


Рис. 3. Магнетит-ульвит с включениями циркониево-силикатной фазы, показанной стрелками (а), микрокристаллические агрегаты корунда (б) и глобулообразная частица дельталюмита (с). СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов

Fig. 3. Magnetite-ulvite with inclusions of zirconium-silicate phase, shown by arrows (a), microcrystalline aggregates of corundum (b) and globular particle of deltalumite (c). SEM images in the regime of elastically reflected electrons

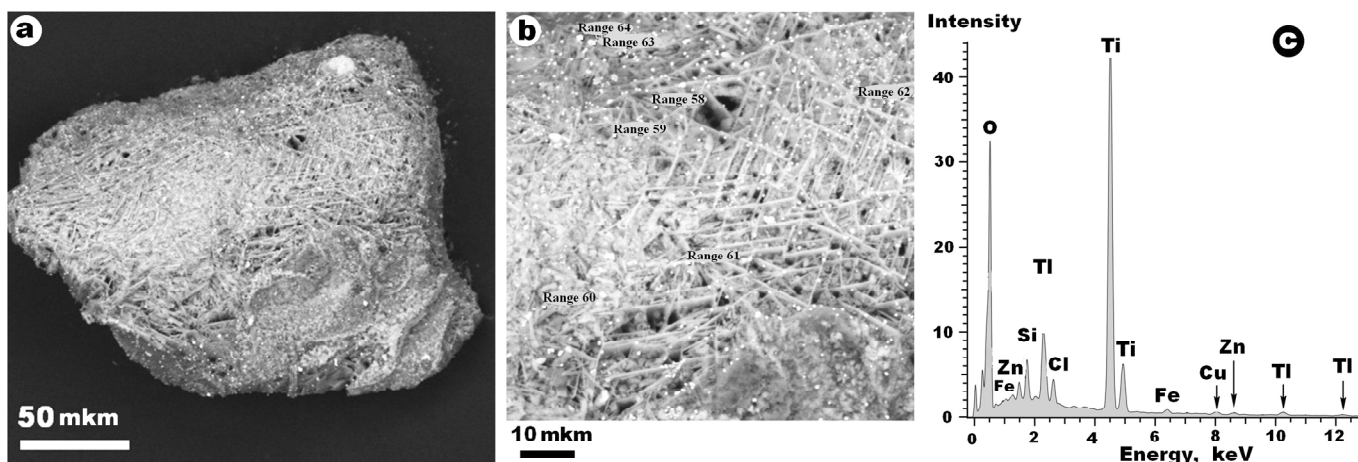


Рис. 4. Частица рутила микроагрегационного строения с примесью фазы оксида таллия: а — частица; б — деталь поверхности, белые точки — таллиевая фаза; с — ЭД-спектр с поверхности частицы. СЭМ-изображение в режиме упругоотраженных электронов

Fig. 4. The rutile particle of a micro-aggregation structure with an admixture of the thallium oxide phase: a — is a particle; b — surface detail, white dots — thallium phase; c — Is the ED spectrum from the surface of the particle. SEM image in the mode of elastically reflected electrons

Галоиды в исследуемых пеплах (рис. 5, а) представлены поликомпонентными твердыми растворами Mg–Ca–Na–хлоридов с незначительной примесью фторидов. Соответствующие пересчеты данных рентгеноспектрального микрозондового анализа приводят к выводу о том, что основу галоидных твердых растворов составляет *бишофит* $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (73–100 мол. %), а в качестве растворенных компонентов выступают *антарктикуит* $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ или *гидрофилит* CaCl_2 (1–23 мол. %), *галит* NaCl (до 4 мол. %) и *селлаит* MgF_2 (до 7 мол. %).

Из кислородных солей в пеплах установлены фосфаты, карбонаты и сульфаты. В качестве фосфатов выступает *фторхлорапатит* (рис. 5, с). Можно отметить, что ранее в пеплах ТТИ-50 уже наблюдался апатит, но он относился к гидроксильному виду и был серосодержащим. Карбонаты в исследуемых пеплах также представлены сложными твердофазными смесями (рис. 5, f, g), которые по составу можно подразделить на три вида: *Zn–Cu–Ca–стронциевые* ($\text{Sr}_{0.53-0.85}\text{Ca}_{0.08-0.42}\text{Zn}_{0.02-0.03}\text{Cu}_{0.02-0.05}[\text{CO}_3]$), *Cu–Ca–Mg–стронциевые* ($\text{Sr}_{0.48-0.79}\text{Mg}_{0.07-0.44}\text{Ca}_{0.03-0.11}[\text{CO}_3]$) и *Cu–Sr–магниевого* ($\text{Mg}_{0.93-0.99}\text{Sr}_{0.01-0.05}\text{Cu}_{0.01-0.02}[\text{CO}_3]$). Сульфаты представлены *гипсом* (рис. 5, с) и сложными твердофазными смесями *алюминита* $\text{Al}_2[\text{SO}_4](\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

галотрихита $\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, *мелантерита* $\text{Fe}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, *сольфатарита* $\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и *калинита* $\text{KAl}[\text{SO}_4]_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ (рис. 5, f, g). Известно, что водные сульфаты алюминия легко дегидратируются, а затем при температуре 500–700 °C диссоциируют по схеме $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_3$. Не исключено, что именно такая диссоциация и приводит к образованию молочно-белой тетраэдрической модификации Al_2O_3 — дельталюмита.

В пеплах Корякского вулкана также были выделены сульфиды: *пирротин*, *пирит*, *киноварь* и некоторые другие. Наиболее интересными из этих минералов являются сульфиды таллия. Последние на камчатских вулканах встречаются нередко [15], а некоторые из них открыты именно на камчатском Толбачике [26–29]. В рассматриваемом случае, судя по данным аналитической СЭМ, мы имеем дело с двумя сульфидными соединениями, известными пока лишь как техногенные фазы. Первый из этих сульфидов рассчитывается на стехиометрию Tl_2S (рис. 6, а — «белая» фаза), а второму отвечает эмпирическая формула $(\text{Tl}_{0.46}\text{Al}_{0.31}\text{Cu}_{0.06}\text{K}_{0.04}\text{Na}_{0.04}\text{Ca}_{0.04})_{0.95}\text{S}$ (рис. 8, а — «серая» фаза). Очевидно, что эти минералы отвечают разной валентности ионов таллия: 1+ в первом случае и 2+ во втором. Такое фазовое сосуществование свидетельствует о

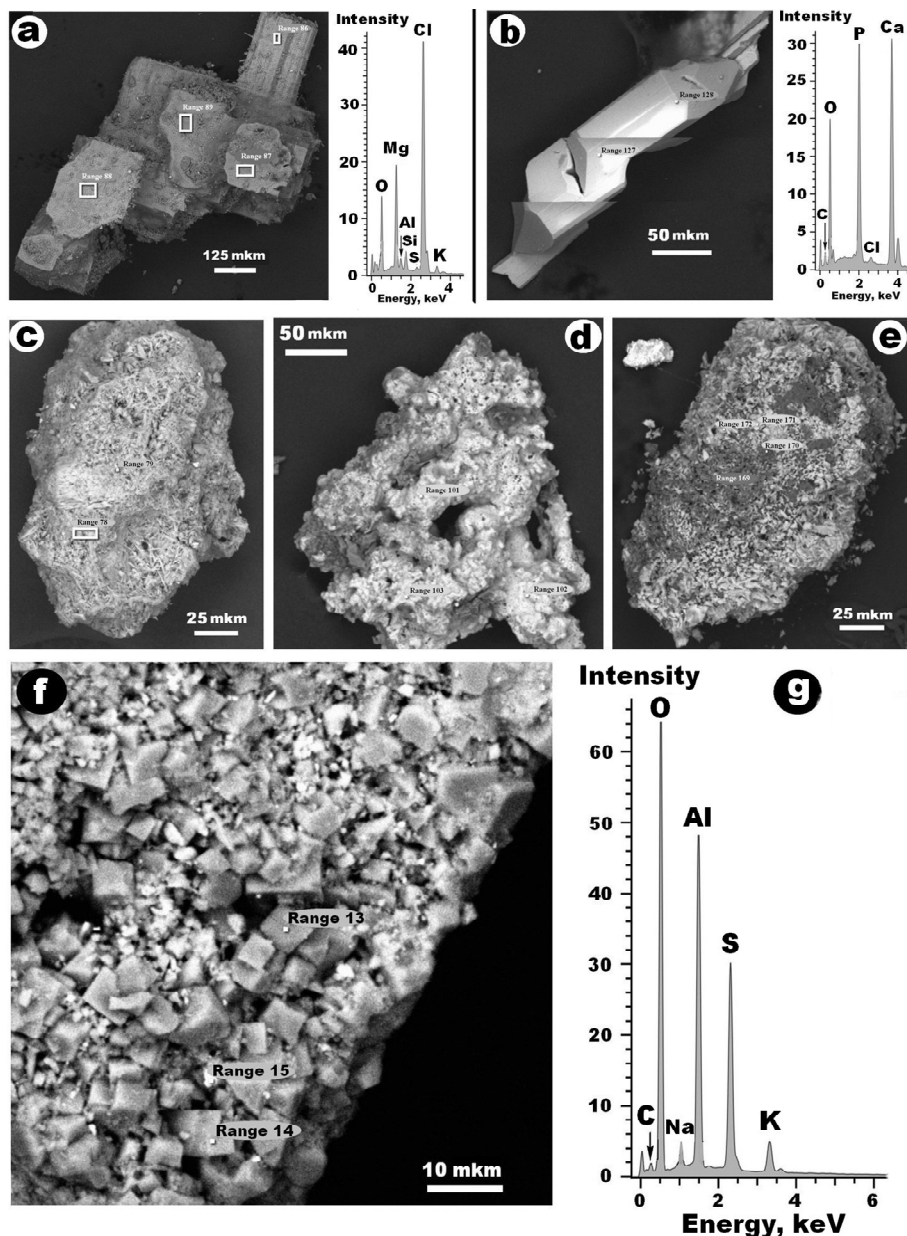


Рис. 5. Поликомпонентные галоиды (а), фторхлорапатит (б), гипс (с), карбонаты Zn–Cu–Ca–стронциевого (д), Cu–Ca–Mg–стронциевого и Cu–Sr–магниевого (е) состава, микрокристаллический агрегат водных сульфатов Al–Fe–Na–K (ф) и соответствующие им ЭД-спектры. СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов

Fig. 5. Polycomponent halides (a), fluorochlorapatite (b), gypsum (c), carbonates of Zn–Cu–Ca–strontium (d), Cu–Ca–Mg–strontium and Cu–Sr magnesium (e) compositions, microcrystalline aggregate of water Al–Fe–Na–K (f) sulfates and the corresponding ED spectra. SEM images in the regime of elastically reflected electrons

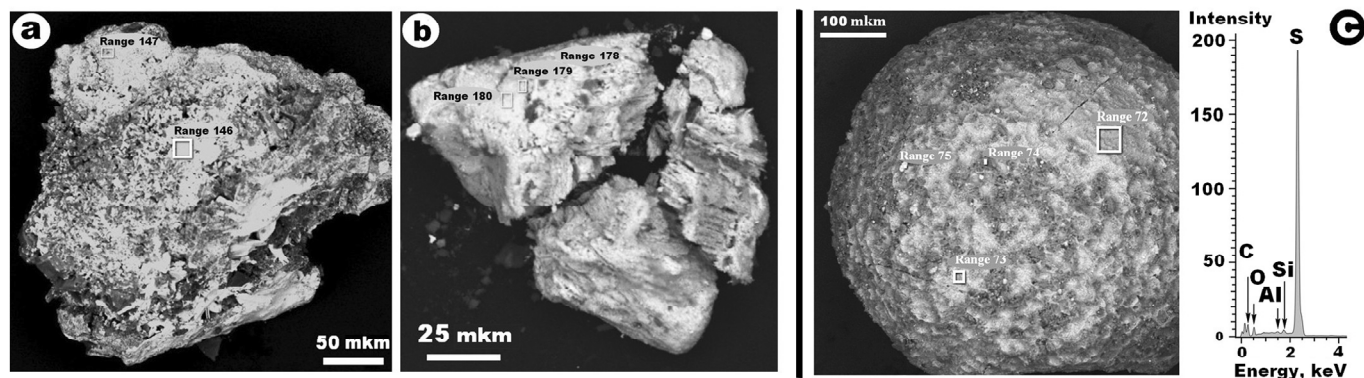


Рис. 6. Таллиевые сульфидные (а), предположительно самородные (б) фазы и сернистые шарики с микровключениями вулканического стекла (с). СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов

Fig. 6. Thallium sulfide (a), presumably native thallium phases (b) phases and sulfur beads with microinclusions of volcanic glass (c). SEM images in the mode of elastically reflected electrons

значительной неоднородности по Eh среды формировавшихся на Корякском вулкане фреатических пеплов. Возможно, впервые в вулканической обстановке был обнаружен самородный *таллий* с незначительными примесями — $Tl_{0.85-0.89}Cu_{0.08-0.09}Ni_{0-0.02}W_{0-0.01}Cl_{0-0.03}Br_{0-0.02}$ (рис. 6, б). Присутствие в составе этой фазы хлора и брома не должно удивлять, поскольку в продуктах вулканизма уже неоднократно выявлялись галоиды таллия [15, 25]. Не исключено, что примесь Cl, Br в самородной фазе таллия свидетельствует о присутствии в корякских пеплах и собственно лафоссита. В группу простых веществ можно включить также шарики размером 0.5—1 мм (рис. 6, с),

практически нацело сложенные самородной серой. В качестве незначительной примеси к сере выявляются алюмосиликатные компоненты, присутствие которых объясняется микровключениями вулканического стекла.

Самородные металлы весьма характерны для пепловых продуктов камчатского вулканизма [9—11, 20]. В исследуемых пеплах обнаружены *цинкистая медь* состава Cu_3Zn_2 (природная латунь, примерно отвечающая техногенной модификации β^1 — упорядоченному раствору Zn в соединении CuZn), самородный *алюминий* $Al_{0.99-1}Co_{0-0.01}$ и самородное *железо* $Fe_{0.97-1}Al_{0-0.03}$ (рис. 7). Присутствие в частицах металлов включений вулканического стекла

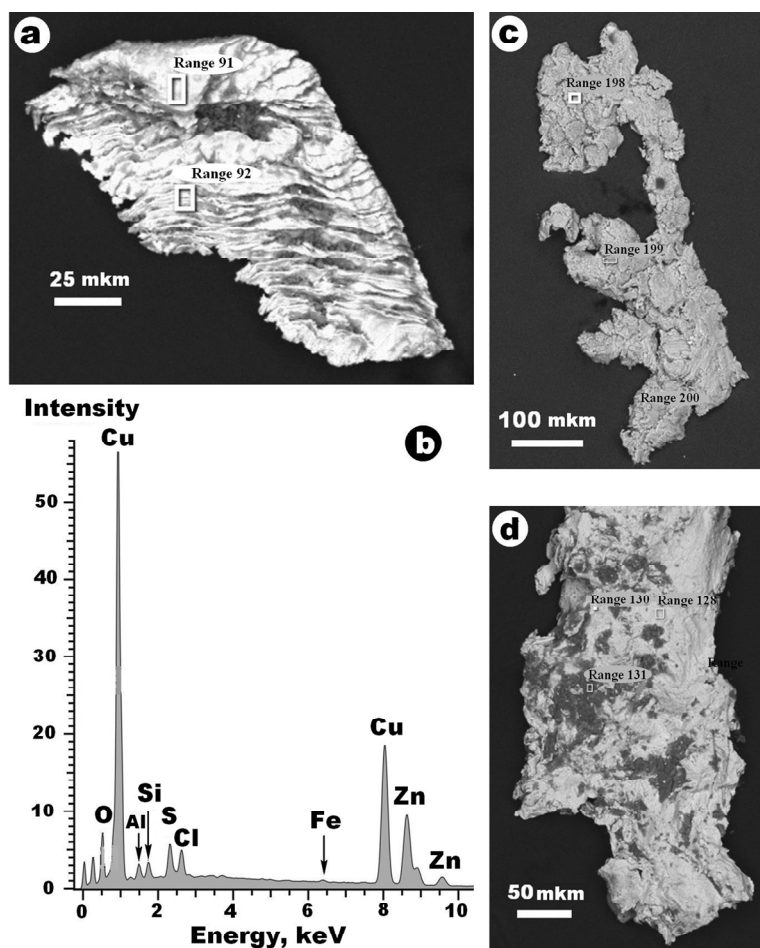


Рис. 7. Типичные частицы латуни (а, б), самородного алюминия (с) и железа (д). СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов

Fig. 7. Typical particles of brass (a, b), native aluminum (c) and iron (d). SEM images in the regime of elastically reflected electrons

прямо указывает на их образование в процессе извержения. Как уже отмечалось [20], для фаз самородного алюминия именно остывающие высокотемпературные газы являются практически единственной реальной обстановкой образования.

Выявляющиеся в продуктах камчатского вулканизма карбиды и углеродные фазы в настоящее время объединяются в многофазный углеродный парагенезис, в котором особое место занимает алмаз [2–4, 7, 8, 10, 12, 13, 17–19]. В последнее время в состав этого парагенезиса мы включили и абиогенные конденсированные органополимерные соединения, образование которых непосредственно в продуктах современного вулканизма представляет собой выдающийся природный феномен [3, 16, 17]. Из карбидов в исследуемом пепле установлен муассанит, образующий угловатые зерна размером $(300–500) \times (125–170)$ мкм (рис. 8, а). Примеси методом ЭД-спектроскопии в нем не установлены. В качестве собственно углеродных фаз выступают графит в виде пластинчатых включений размером $(50–100) \times (15–25)$ мкм в зернах кварца (рис. 8, б) и частицы шунгитоподобного вещества размером $(300–850) \times (200–300)$ мкм. В последних всегда обнаруживаются многочисленные микровключения вулканического стекла (рис. 8, с, d).

При изучении минералов методом аналитической сканирующей электронной микроскопии без напыления на двух зернах молочно-белого корунда (предположительно дельталюмита) были обнаружены два кристалла алмаза кубического габитуса размером 10–15 мкм. На одном из кристаллов наблюдается притупляющая вершину куба мелкая октаэдрическая грань (рис. 9).

Конденсированные органические соединения, выявленные в пеплах Корякского вулкана, представлены бесцветными и желтоватыми прозрачными янтаревидными частицами неправильной формы размером $(800–900) \times (300–400)$ мкм (рис. 10, а), а также бесцветными и цветными — зелеными, синими, розовыми — нитями толщиной 25–40 мкм, длиной до 10–15 мм (рис. 10, б, с). По элементному составу частицы и нити относятся к СНО-типу органополимеров, т. е. полисахаридам [16].

Закключение

Проведенные исследования показали, что тефра на Корякском вулкане действительно представляет собой резургентный пепел фреатического взрыва. На это указывает весьма гетерогенный минеральный парастерезис, включающий минералы метаморфогенного (пироп-альмандин, циркон, титанит), вулканического (шпинелиды, оливин, орто- и клинопироксены, плагиоклазы, ильменит, вулканическое стекло), CVD (корунд, дельталюмит, рутил, оксиды и сульфиды Ti, муассанит, латунь, самородные алюминий, железо, таллий, сера, алмаз, графит, шунгитоподобная углеродная фаза, конденсированные органополимерные соединения) и фумарол-гидротермального (альмандин-гроссуляр, гроссуляр-андрадит, андрадит, пирит, киноварь, поликомпонентные галоиды, сульфаты, хлорфторapatит, карбонаты Zn-Cu-Sr-, Cu-Sr-Mg-Sr-, Cu-Sr-Mg-состава) происхождения. Следует отметить, что многие из обнаруженных во фреатической тефре Корякского вулкана минералов аналогичны выявленным и на других камчатских вулканах, например, на Толбачинском и Ключевском. Это усиливает ощущение целостности всего феномена кайнозойского вулканизма на Камчатке, по крайней мере в рамках Восточного вулканического хребта.

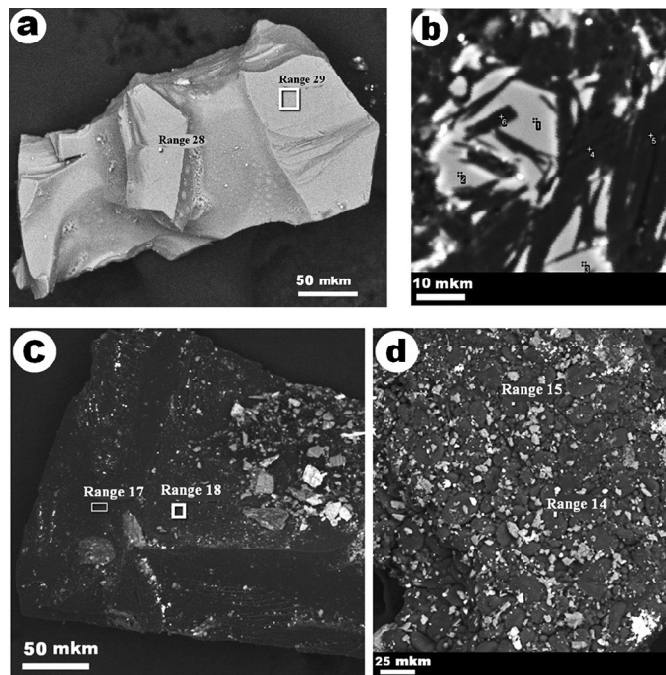


Рис. 8. Типичное зерно муассанита (а), включения графита в зернах кварца (б) и частицы шунгитоподобного вещества (с, d). СЭМ-изображение в режиме упругоотраженных электронов

Fig. 8. Typical grain of moissanite (a), inclusion of graphite in grains of quartz (b) and particles of schungite-like substance (c, d). SEM image in the mode of elastically reflected electrons

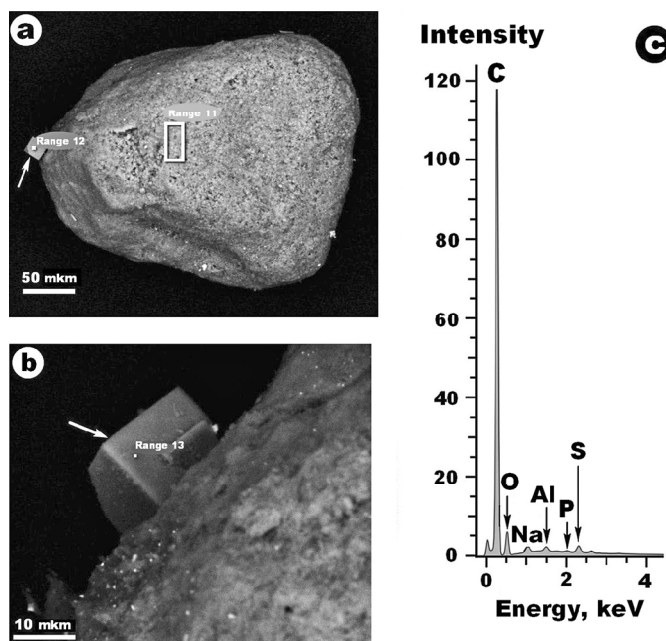


Рис. 9. Микрористалл алмаза (показан стрелками), нарастающий на поверхность дельталюмита (а, б), и ЭД-спектр, полученный от алмаза (с). СЭМ-изображения в режиме вторичных электронов

Fig. 9. A microcrystal of diamond (shown by arrows), growing on the surface of deltalumite (a, b), and ED spectrum obtained from diamond (c). SEM images in the secondary-electron mode

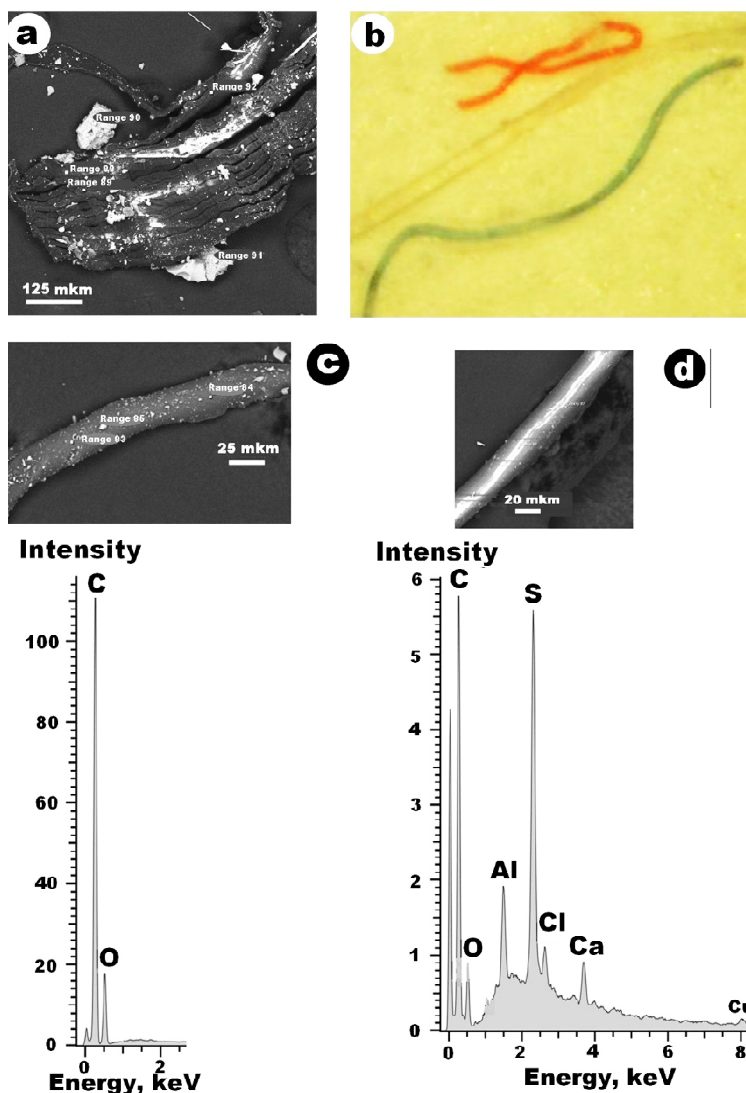


Рис. 10. Абиогенные органические полимеры: плоская прозрачная частица (а), нитевидные формы разного цвета (b) и бесцветная частица (с) с соответствующими ЭД-спектрами. СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов (а, b, d) и фото под биноклем (b)

Fig. 10. A biogenic organic polymers: a flat transparent particle (a) and filamentary forms of various color (b) and colorless (c) with the corresponding ED spectra. SEM images in the mode elastically reflected electrons (a, b, d) and a photo under the binocular (b)

Особое значение, безусловно, имеет выявленный факт алмазоносности исследованных пеплов. Фактически Корякский вулкан становится пятым камчатским вулканом, в продуктах извержения которого обнаружены алмазы¹. Однако в рассматриваемом случае мы имеем дело, во-первых, с материалом корового происхождения, а во-вторых, с алмазом, непосредственно выросшем на частицу дельталюмита, образовавшегося в газовой-пепловом облаке. Особенностью корякских алмазов является очень мелкий размер и кубический габитус, что может действительно свидетельствовать об их кристаллизации из газовой фазы в условиях значительных пересыщений по углероду [6]. Все это подтверждает высказанную нами ранее идею о вероятности вулканогенно-электрогенного образования алмазов в природе.

Следует также указать на очень важный факт обнаружения в тифре на Корякском вулкане разнообразных по

форме и цвету частиц и нитей конденсированных органических соединений. Это свидетельствует о систематическом образовании в современных вулканах достаточно высокоорганизованных предбиологических форм абиогенного органического вещества.

Литература

1. Аникин Л. П., Вергасова Л. П., Максимов А. П. и др. Пеплы извержения Корякского вулкана в 2009 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы региональной конференции вулканологов. Петропавловск-Камчатский: Изд-во ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 10–13.
2. Аникин Л. П., Соколенко А. В., Овсянников А. А. и др. Находка алмазов в лавах Толбачинского извержения 2012–2013 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы регион. конф. вулканологов. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 20–23.

¹ Недавно алмазы были обнаружены в продуктах извержения вулкана Алаид на о-ве Атласова. Это уже шестой алмазогенерирующий современный вулкан и первый за пределами Камчатки.



3. Аникин Л. П., Чубаров В. М., Еремина Т. С. и др. Акцессорные минералы и новая находка алмазов в базальтах вулкана Плоский Толбачик, Камчатка // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы регион. конф. вулканологов. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2015. С. 214—222.
4. Байков А. И., Аникин Л. П., Дунин-Барковский Р. Л. Находка карбонадо в вулканиках Камчатки // Доклады АН, 1995. Т. 343. № 1. С. 72—74.
5. Галимов Э. М., Карпов Г. А., Севостьянов В. С. и др. Алмазы в продуктах извержения вулкана Толбачик (Камчатка, 2012—2013 гг.) и механизм их образования // Геохимия. 2016. № 10. С. 868—872.
6. Гаранин В. К., Дигонский С. В., Кудрявцева С. П. Модель образования природного алмаза в аспекте его синтеза. Модель газофазного образования алмаза // Известия вузов. Геология и разведка. 2006. № 1. С. 20—24.
7. Гордеев Е. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П. и др. Алмазы в лавах Трещинного Толбачинского извержения на Камчатке // Доклады АН. 2014. Т. 454. № 2. С. 204—206.
8. Дунин-Барковский Р. Л., Аникин Л. П., Васильев Г. Ф. Алмазы Камчатки // Горный вестник Камчатки. 2013. № 26. Вып. 4. С. 57—61.
9. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П. и др. Минералы из пеплов и эксгалиационных конденсатов алмазопродуктивных извержений вулканов ключевой группы на Камчатке // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2016). Сыктывкар: Геопринт, 2016. С. 36—38.
10. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П. и др. Алмазы и сопутствующие минералы в продуктах трещинного Толбачинского извержения 2012—2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2014а. № 6. С. 3—30.
11. Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П. и др. Новый генетический тип алмазов в ассоциации с самородными металлами в продуктах Трещинного Толбачинского извержения 2012—2013 гг. // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2014): Материалы Минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2014б. С. 128—131.
12. Кутыев Ф. Ш., Аникин Л. П. Акцессорные минералы продуктов извержения Авачинского вулкана 13 января 1991 г. // Тезисы докладов VII Всесоюзного вулканологического совещания. Петропавловск-Камчатский: Изд-во ИВиС ДВО РАН, 1992. С. 90.
13. Кутыев Ф. Ш., Кутыева Г. В. Алмазы в базальтоидах Камчатки // Доклады АН СССР. 1975. Т. 231. № 1. С. 183—186.
14. Максимов А. П., Аникин Л. П., Вергасова Л. П. и др. Пеплы Корякского вулкана (Камчатка) в 2009 г. Особенности состава и генезис // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 2. Вып. 18. С. 73—86.
15. Округин В. И., Малик Н. А., Плутахина Е. Ю. и др. Новые данные о возгонах и сублиматах Авачинского вулкана (2014—2015 гг.) // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы региональной научной конференции вулканологов. Петропавловск-Камчатский: Изд-во ИВиС, 2016. С. 400—405.
16. Силаев В. И., Аникин Л. П., Вергасова Л. П. и др. Абиогенные органические полимеры в продуктах современного вулканизма // Вестник Пермского университета. Геология. 2016а. Вып. 3. С. 21—33.
17. Силаев В. И., Васильев Е. А., Карпов Г. А. и др. Углеродный парагенезис в эруптивных пеплово-газовых продуктах извержения камчатских вулканов // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2016). Сыктывкар: Геопринт, 2016б. С. 67—68.
18. Силаев В. И., Вергасова Л. П., Васильев Е. А. и др. Микропарагенезис алмаза и самородного алюминия в продуктах современного вулканизма // Вулканология и сейсмология. 2016в. № 1. С. 71—77.
19. Силаев В. И., Карпов Г. А., Ракин В. И. и др. Алмазы в продуктах Трещинного Толбачинского извержения 2012—2013. Камчатка // Вестник Пермского университета. Геология. 2015а. С. 6—27.
20. Силаев В. И., Петровский В. А., Карпов Г. А. и др. Дюралюминий в тефре Толбачинского извержения 2012—2013 гг. // Высокие технологии в промышленности России: Научные труды XX Международной научно-технической конференции. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015б. С. 320—325.
21. Силаев В. И., Шабалин В. Н., Голубева И. И. и др. О цинксодержащих и цинкистых хромшпинелидах Тимано-Уральского региона // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2008. № 8. С. 6—16.
22. Чаплыгин И. В. Рудная минерализация высокотемпературных фумарол вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова): Автореф. канд. дис. М.: МГУ, 2009. 36 с.
23. Bindeman N., Anikin L. P., Schmit A. K. Archean Xenocrysts in Modern Volcanic Rocks from Kamchatka: Insight into the Basement and Paleodrainage // Journal of Geology, 2016. V. 124. № 2. P. 1—10.
24. Pekov I. V., Anikin L. P., Chukanov N. V. et al. Deltalumite, IMA 2016-027. CNMNC Newsletter No. 32, August 2016, page 919 // Mineralogical Magazine, 2016. V. 80. P. 919—920.
25. Roberts A. C., Venance K. E., Seward T. M. et al. Lafossaite a new mineral from the la Fossa Crater, Volcano, Italy // Mineral. Record, 2006. V. 37. P. 165—168.
26. Sidra O. I., Vergasova L. P., Krivovichev S. V. et al. Unique thallium mineralization in the fumaroles of Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. I. Markhhininite, $\text{TiBi}(\text{SO}_4)_2$ // Mineralogical Magazine, 2014а accepted.
27. Sidra O. I., Vergasova L. P., Kretser Y. L. et al. Unique thallium mineralization in the fumaroles of Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. II. Karpovite, $\text{Ti}_2\text{VO}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})$ // Mineralogical Magazine, 2014b) accepted.
28. Sidra O. I., Vergasova L. P., Kretser Y. L. et al. Unique thallium mineralization in the fumaroles of Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. III. Evdokimovite, $\text{Ti}_4(\text{VO})_3(\text{SO}_4)_5(\text{H}_2\text{O})_5$ // Mineralogical Magazine, 2014v accepted.
29. Vergasova L. P., Sidra O. I., Kretser Y. L. et al. Karpovite, IMA 2013-040, CNMNC Newsletter, 2013, № 17. October 2013, page 2999 // Mineralogical Magazine, 2013. V. 77. P. 2997—3005.

References

1. Anikin L. P., Vergasova L. P., Maksimov A. P. et al. *Peply izvergeniya Koryakskogo vulkana v 2009 g.* (Ashes of eruption of Koryaksky volcano in 2009). Volcanism and related processes: Proceedings of conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2013, pp. 10—13.
2. Anikin L. P., Sokorenko A. V., Ovsyannikov A. A. et al. *Nahodkialmazov v lavah Tolbachinskogo izvergeniya 2012—2013 gg.* (Diamond finds in lavas of Tolbachinskoe eruption in



2012–2013). Volcanism and related processes: Proceedings of conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2013, pp. 20–23.

3. Anikin L. P., Chubarov V. M., Eremina T. S. et al. *Arzessornie minerali i novaya nahodkaalmazov v basaltah vulkana Plosky Tolbachik, Kamchatka* (Accessory minerals and new find of diamond in basalts of Plosky Tolbachik volcano). Volcanism and related processes: Proceedings of conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015, pp. 214–222.

4. Baykov A. I., Anikin L. P., Dunun-Barkovsky R. L. *Nahodka karbonado v vulkanitah Kamchatki* (Carbonado find in Kamchatka volcanites). Doklady Earth Sciences, 1995, V. 343, No. 1, pp. 72–74.

5. Galimov E. M., Karpov G. A., Sevostyanov V. S. et al. *Almazi v produktah izvergeniya vulkana Tolbachik (Kamchatka, 2012–2013 gg.) i mehanizm ih obrasovania* (Diamonds in products of eruption of Tolbachik volcano (Kamchatka, 2012–2013). Geokhimiya, 2016, No. 10, pp. 868–872.

6. Garanin E. M., Digonsky S. V., Kudryavzeva S. P. *Model obrasovaniya prirodnogo almaza v aspekte ego sintesa. Model gasofasnogo obrasovaniya almaza* (Model of formation of natural diamond in its synthesis aspect. Model of gas phase formation of diamond). Izvestiya vusov. Geologiya i rasvedka, 2006, No. 1, pp. 20–24.

7. Gordeev E. I., Karpov G. A., Anikin L. P. et al. *Almazi v lavah Treshcinnogo Tolbachinskogo izvergeniya na Kamchatke* (Diamonds in lavas of fractured Tolbachik eruption in Kamchatka). Doklady Earth Sciences, 2014, pp. 204–206.

8. Dunin-Barkovsky P. L., Anikin L. P., Vasiliev G. F. *Almazi Kamchatki* (Kamchatka diamonds). Gornyy vestnik Kamchatky, 2013, No. 26, 4, pp. 57–61.

9. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P. et al. *Minerali iz peplov i ekskalyazionnih kondensatov almazoproduktivnih isvergeniy vulkanov kluchevskoy gruppi na Kamchatke* (Minerals from ashes and exhalational condensates of diamond-productive eruptions of Kluchevskaya group volcanoes in Kamchatka). Yushkin Memorial Seminar — 2016. Syktyvkar: Geoprint, 2016, pp. 36–38.

10. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P. et al. *Almazi i soputstvuyushchie minerali v produktah Treshcinnogo Tolbachinskogo izvergeniya 2012–2013 gg.* (Diamonds and accompanying minerals in products of fractured Tolbachik eruption in 2012–2013). Vulkanologiya i seismologiya, 2014a, No. 6, pp. 36–38.

11. Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P. et al. *Novyy geneticheskiy tip almazov v assoziatsii s samorodnimi metallami v produktah Treshcinnogo Tolbachinskogo izvergeniya 2012–2013 gg.* (New genetic type of diamonds in association with native metals in products of fractured Tolbachik eruption in 2012–2013). Yushkin Memorial seminar — 2014. Syktyvkar: Geoprint, 2016, pp. 36–38.

12. Kutiev F. Sh., Anikin L. P. *Akzessornie minerali produktov izvergeniya Avachinskogo bulkana 13 yanvarya 1991 g.* (Accessory minerals of products of eruption of Avachinsky volcano in January 13, 1991). Proceedings. Petropavlovsk-Kamchatsky, 1992, pp. 90.

13. Kutiev F. Sh., Kutieva G. V. *Almazi v basaltoidah Kamchatky* (Diamonds in basaltoids of Kamchatka). Doklady Earth Sciences, 1975, V. 231, No. 1, pp. 183–186.

14. Maksimov A. P., Anikin L. P., Vergasova L. P. et al. *Pepli Koryakskogo vulkana (Kamchatka) v 2009 g. Osobennosti sostava i genesis* (Ashes of Koryaksky volcano (Kamchatka) in 2009. Composition and genesis). Vestnik KRAUNZ. Nauki o Semle, 2011, No. 2, 18, pp. 73–86.

15. Okrugin V. I., Malik N. A., Plutahina E. Yu. et al. *Novie Dannie o vosgonah i sublimatah Avachinskogo vulkana (2014–2015)* (New data about sublimates of Avachinsky volcano (2014–2015). Volcanism and related processes: Proceedings of conference. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2016, pp. 400–405.

16. Silaev V. I., Anikin L. P., Vergasova L. P. et al. *Abiogenie oganicheskie polimeri v produktah sovremennogo vulkanizma* (Abiogenic organic polymers in products of modern volcanism). Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2016, 3, pp. 21–33.

17. Silaev V. I., Vasiliev E. A., Kapov G. A. et al. *Uglerodnyy paragenesis v eruptivnykh peplovo-gasovih produktah isvergeniya kamchatskih almazov* (Carbon paragenesis in eruptive ash-gas products or eruption of Kamchatka diamonds). Yushkin Memorial seminar — 2014. Syktyvkar: Geoprint, 2016, pp. 21–33.

18. Silaev V. I., Vergasova L. P., Vasiliev E. A. et al. *Mikroparagenesis almaza i samorodnogo alyuminiya v produktah sovremenniy vulkanizma* (Microparagenesis of diamond and native aluminum in products of modern volcanism). Vulkanologiya i seismologiya, 2016a, No. 1, pp. 71–77.

19. Silaev V. I., Karpov G. A., Rakin V. I. et al. *Almazi v produktah Treshcinnogo Tolbachinskogo izvergeniya 1012–2013. Kamchatka* (Diamonds in products of fractured Tolbachik eruption in 2012–2013). Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2015a, pp. 6–27.

20. Silaev V. I., Petrovsky V. A., Karpov G. A. et al. *Duraluminy v tefre Tolbachinskogo isvergebya 2012–2013 gg.* (Duraluminum in tefra of Tolbachik eruption 2012–2013). Proceedings. Moscow: VGTU Baumana, 2015b, pp. 320–325.

21. Silaev V. I., Shabalin V. N., Golubeva I. I. et al. *O zink-soderzhashchih i zinkistih hromshpinelidakh Timano-Uralskogo regiona* (Zinc-containing and zinc chromspinelides of Timan-Ural region). Vestnik of institute of geology Komi SC UB RAS, 2008, No. 8, pp. 6–16.

22. Chaplugin I. V. *Rudnaya mineralizatsiya visokotemperaturnykh fumaol vulkana Kudryavy (o. Iturup. Kurilskie ostrova)* (Ore mineralization of high-temperature fumaols of Kudryavy volcano (Iturup island, Kuril islands)). Extended abstract of PhD dissertation. Leningrad: MGU, 2009, 36 pp.

23. Bindeman N., Anikin L. P., Schmit A. K. *Archean Xenocrysts in Modern Volcanic Rocks from Kamchatka: Insight into the Basement and Paleodrainage*. Journal of Geology, 2016, V. 124, No. 2, pp. 1–10.

24. Pekov I. V., Anikin L. P., Chukanov N. V. et al. *Deltalomite, IMA 2016-027*. CNMNC Newsletter No. 32, August 2016, page 919. Mineralogical Magazine, 2016, V. 80, pp. 919–920.

25. Roberts A. C., Venance K. E., Seward T. M. et al. *Lafossaite a new mineral from the la Fossa Crater, Volcano, Italy*. Mineral. Record, 2006, V. 37, pp. 165–168.

26. Sidra O. I., Vergasova L. P., Krivovichev S. V. et al. *Unigue thallium mineralization in the fumaroles of Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. I. Markhhininite, TlBi(SO₄)₂*. Mineralogical Magazine, 2014a accepted.

27. Sidra O. I., Vergasova L. P., Kretser Y. L. et al. *Unigue thallium mineralization in the fumaroles of Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. II. Karpovite, Tl₂VO(SO₄)₂(H₂O)*. Mineralogical Magazine, 2014b accepted.

28. Sidra O. I., Vergasova L. P., Kretser Y. L. et al. *Unigue thallium mineralization in the fumaroles of Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia. III. Evdokimovite, Tl₄(VO)₃(SO₄)₅(H₂O)₅*. Mineralogical Magazine, 2014c accepted.

29. Vergasova L. P., Sidra O. I., Kretser Y. L. et al. *Karpovite, IMA 2013-040*, CNMNC Newsletter, 2013, № 17. October 2013, page 2999. Mineralogical Magazine, 2013, V. 77, pp. 2997–3005.