

К 40-летию изучения процессов и продуктов деятельности Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг.

Грандиозное природное явление, потрясшее четыре десятилетия назад центральную часть далекого Камчатского полуострова, приблизилось с тех пор к нам настолько, что стало неотъемлемой частью истории Кафедры кристаллографии Геологического факультета Ленинградского университета (теперь Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета).

Ниже раскрываются некоторые страницы этой истории. За основу взято обращение автора к своим однокурсникам, написанное в переломный для Толбачинского вулкана период 2012-2013 годов. В нем перечислены этапы полевых и камеральных исследований преподавателей и студентов кафедры на Толбачинском извержении и кратко изложены их результаты. Для получения более полных сведений можно обратиться к указанным в конце этих страниц приложениям.

Заканчивая данный обзор 2013-м годом, автор приглашает продолжить повествование доцента Олега Иоханесовича Сийдру, взявшего на себя несколько лет назад заботу по поддержанию работ Кафедры кристаллографии СПбГУ на вулканах.

С.К. Филатов

35 ЛЕТ НА ВУЛКАНАХ

*(К 50-летию выпуска
геофака ЛГУ 1963 года)*

Братьям по галстуку –

несколько слов о вулканологических
исследованиях кристаллографов
нашего университета

**Автор благодарит всех,
кто, работая вместе с ним
на Толбачике и изучая
продукты вулканизма,
«заболел» этим
уникальным вулканом и
стал, хотя бы немного,
вулканологом**

СПб 2013



Фото 1



Фото 2

www.reform-press.ru

Фото 1 и 2

Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) 1975-76 гг

(Снимки В. Гиппенрейтера)

1. КАК ЭТО НАЧИНАЛОСЬ

В 1977 году мы совершили первую из двух десятков экспедиций на вулканы Курило-Камчатской гряды, в частности, на конусы Большого трещинного Толбачинского извержения. Из однокурсников в отряд входил **Дима Сиповский**.

В тот (1977) год к лету я оканчивал трехгодичные курсы мат-меха и, как

освобождающаяся от нагрузки пружина, должен был «вылететь» куда-нибудь подальше. Выбору места поездки способствовало предложение **Аркадия Гликина** остановиться перед заброской на вулканы у его друга, нашего младшего брата по галстуку – **Юрия Ванде-Киркова** в Петропавловске-Камчатском. На эту гостеприимную семью мы и обрушились с палатками, спальниками, котелками. Юрий Вадимович познакомил нас с С.И. Набоко, Л.П. Вергасовой, Ю.П. Трухиным, Р.А. Шуваловым, Г.А. Карповым и другими сотрудниками Института вулканологии АН, которые и открыли для нас Толбачик.

Руководство кафедры воспринимало нашу активность как проявление ребячества, поэтому ездили мы в отпускные июле-августе на средства своих хоздоговорных работ. В связи с этим с признательностью вспоминаю Государственный оптический институт – былого «монстра» военно-промышленного комплекса, с которым я имел ежегодные договора на терморентгенографические исследования жаропрочных материалов. Остаток от договоров (несколько тысяч рублей на лето, в то время – это несколько тысяч долларов) и служил нам для проведения экспедиций на вулканы «с целью сопоставления высокотемпературных технологических и природных процессов».

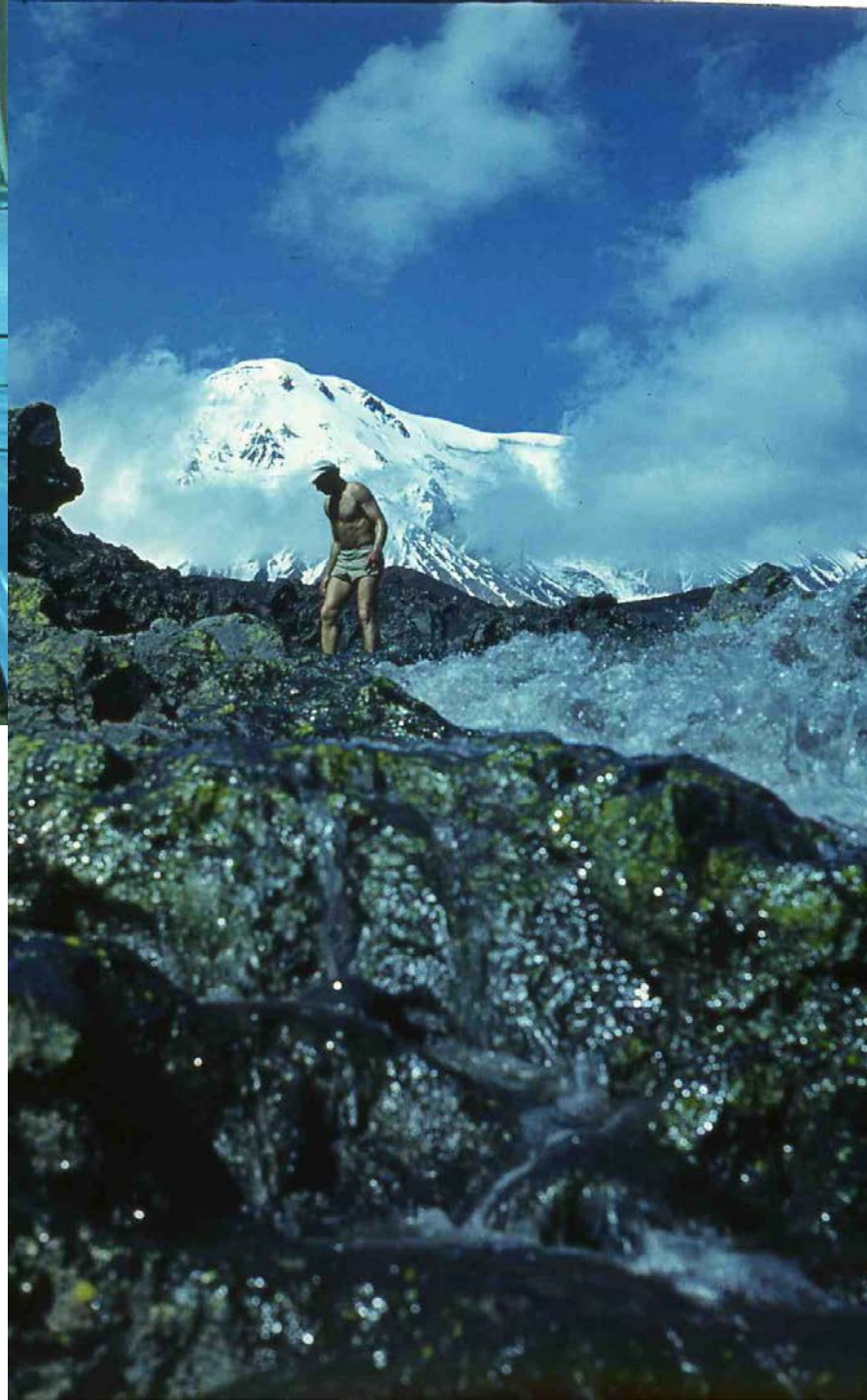


Фото 3

**Ю.В. Ванде-Кирков (слева) и
Д.П. Сиповский 1977 г**

В то время романтики обсуждали перспективы извержения «придворного» вулкана Авача, который вскоре оправдал надежды, существенно «проредив» население столицы Камчатского Края и настолько же увеличив число жителей европейской части страны.

Фото 4

**По пути на Плоский Толбачик
С.К. Филатов 1977 г**

***В настоящее время здесь извергается
вулкан Плоский Толбачик-2012***



Фото 5

Толбачинский дол после извержения 1975-76 годов

Белое – Острый Толбачик (слева) и Плоский Толбачик (справа). На Плоском Толбачике виден провал, образовавшийся после излияния магмы в районе БТТИ (нижняя часть снимка)

Извержение было предсказано в газете «Камчатская правда», к его началу на месте ожидаемого прорыва магмы и газов собрались десятки вулканологов и репортеров. И им повезло дважды: извержение началось строго по прогнозу, и никто не пострадал. Профессиональные фотографии были сделаны В. Гиппенрейтером (напр., Фото 1, 2, 16). Наше знакомство с БТТИ началось с лекций акад. С.А. Федотова, прочитанных им в домике на 20-й точке.

Становлению работ кафедры на вулканах благоприятствовало то обстоятельство, что я преподавал тогда еще и на Специальном факультете экологии ЛГУ (на общественных началах, от избытка сил?). На этот факультет мы и пригласили поступить сотрудницу ИВ АН Лидию Павловну Вергасову, и одним только этим я был вознагражден за свой подвижнический труд на спецфаке – началось плодотворное сотрудничество. В 1980 г. Л.П. получила второе высшее образование по «рентгеновским методам исследования». Мы рентгенографировали в качестве дипломной работы Л.П. сотню образцов продуктов вулканических эксгаляций. А в 1988 г. Л.П. защитила по Толбачику у нас с д. г.-м. н. проф. С.И. Набоко кандидатскую диссертацию.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе совместных работ мы переносили в вулканологию кристаллохимические методы исследования:

рентгенографию, рентгено-структурный анализ, термо-рентгенографию, моделирование эксгаляционных процессов и продуктов методом химического газового транспорта –

подвергая с нашей группой все непростые для оптики вулканические тонкодисперсные гетерофазные материалы этим эффективным исследованиям (Фото 6).

Фото 6

На бокситовом (лесюкитовом) поле I конуса БТТИ (Соавторы открытия лесюкита) 2000 г



Single Crystal X-Ray Diffractometer



В Институте вулканологии тем временем был приобретен и запущен **рентгеноспектральный микрозондовый анализатор**, через который впоследствии проходили многие наши минералы с Толбачика.

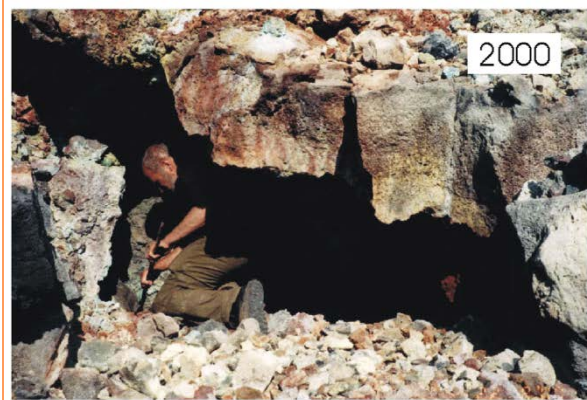
3. ЕЖЕГОДНЫЙ МОНИТОРИНГ ФУМАРОЛ

“POISONOUS” FUMAROLE

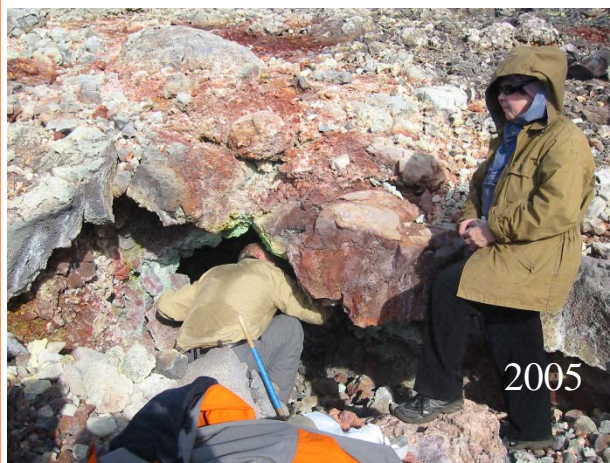


1977

Tolbachite CuCl_2
Melanothallite Cu_2OCl_2
Ponomarevite $\text{Cu}_4\text{K}_4\text{OCl}_{10}$
Kamchatkite $\text{Cu}_3\text{KO}(\text{SO}_4)_2\text{Cl}$
Klyuchevskite $\text{Cu}_3\text{Fe}^{3+}\text{K}_3\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$
Alumoklyuchevskite
 $\text{Cu}_3\text{AlK}_3\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$
Coparsite $\text{Cu}_4\text{O}_2[(\text{As},\text{V})\text{O}_4]\text{Cl}$
Leningradite $\text{Cu}_3\text{Pb}(\text{VO}_4)_2\text{Cl}_2$



2000



2005

Фото 7
Фумарола
«Ядовитая»
II конус
БТТИ

(Перечислены новые минералы, открытые в продуктах эксгаляций этой фумаролы)

Температура
в устье (°C):

1977 г. – 700°
2000 г. – 150°
2005 г. – 100°

4. НОВАЯ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ГРУППА МИНЕРАЛОВ

Все это способствовало тому, что к 1990 г. мы с Л.П. Вергасовой описали более 100 (из 200 известных в мире) минералов эксгаляций, выделили и систематически охарактеризовали **генетическую группу минералов вулканических эксгаляций**: высокая температура, практически атмосферное давление, насыщенная газовая атмосфера (Зап. ВМО, 1993, 122, № 4, с. 68-76).

5. НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЭКСГАЛЯЦИЙ

При участии Г.Л. Старовой, Е.К. Серафимовой, Т.В. Вараксиной, а позже Т.Ф. Семеновой, С.В. Кривовичева, М.Г. Горской, Р.Р. Шувалова и др. были открыты на Толбачике 30 новых минеральных видов, изучено их кристаллическое строение и термическое поведение (Табл. 1). Поражает разнообразие катионов и анионов в парогазовой фазе этого вулкана.

Таблица 1. Новые минералы вулканических эксгальций, открытые на БТТИ (Красным символом **O** помечены дополнительные атомы кислорода. Данные на 2005 г.)

N	Mineral	Chemical formula	Authors	Year
1	Melanothallite	Cu_2OCl_2	Vergasova, Filatov	1982
2	Tolbachite	CuCl_2	Vergasova, Filatov	1983
3	Piypite	$\text{Cu}_4\text{K}_4\text{O}_2(\text{SO}_4)_4\text{MX}$	Vergasova, Filatov, Serafimova	1984
4	Atlasovite	$\text{Cu}_6\text{Fe}^{3+}\text{BiO}_4(\text{SO}_4)_5\text{KCl}$	Popova, Popov, Rudashevskiy, Glavatskikh, Polyakov, Bushmakina	1987
5	Nabokoite	$\text{Cu}_7\text{TeO}_4(\text{SO}_4)_5\text{KCl}$	Popova, Popov, Rudashevskiy, Glavatskikh, Polyakov, Bushmakina	1987
6	Fedotovite	$\text{Cu}_3\text{K}_2\text{O}(\text{SO}_4)_3$	Vergasova, Filatov, Serafimova, Starova	1988
7	Kamchatkite	$\text{Cu}_3\text{K}(\text{SO}_4)_2\text{Cl}$	Vergasova, Filatov, Serafimova, Varaksina	1988
8	Ponomarevite	$\text{Cu}_4\text{K}_4\text{OCl}_{10}$	Vergasova, Filatov, Serafimova, Semenova	1988
9	Klyuchevskite	$\text{Cu}_3\text{Fe}^{3+}\text{K}_3\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$	Vergasova, Filatov, Gorskaya, Ananiev, Sharov	1989
10	Sofiite	$\text{Zn}_2(\text{SeO}_3)\text{Cl}_2$	Vergasova, Filatov, Semenova, Filosofova	1989
11	Leningradite	$\text{Cu}_3\text{Pb}(\text{VO}_4)_2\text{Cl}_2$	Vergasova, Filatov, Semenova, Ananiev	1990
12	Alarsite	$\text{Al}(\text{AsO}_4)$	Semenova, Vergasova, Filatov, Ananiev	1994
13	Alumoklyuchevskite	$\text{Cu}_3\text{AlK}_3\text{O}_2(\text{SO}_4)_4$	Gorskaya, Vergasova, Filatov, Rolich, Ananiev	1995
14	Vlodavessite	$\text{AlCa}_2(\text{SO}_4)_2\text{F}_2\text{Cl}4\text{H}_2\text{O}$	Vergasova, Starova, Filatov, Filosofova, Matushevich, Dunin-Barkovskaya	1995
15	Lesukite	$\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}2\text{H}_2\text{O}$	Vergasova, Stepanova, Serafimova, Filatov	1997
16	Ilinskite	$\text{Cu}_3\text{NaO}_2(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_3$	Vergasova, Semenova, Shuvalov, Filatov, Ananiev	1997
17	Vergasovaitite	$\text{Cu}_3\text{O}[(\text{Mo},\text{S})\text{O}_4](\text{SO}_4)$	Bykova, Berlepsch, Kartashov, Brugger, Armbruster, Kriddl	1998
18	Averievite	$\text{Cu}_5\text{O}_2(\text{VO}_4)_2\text{nMCl}$	Vergasova, Starova, Filatov, Ananiev	1998
19	Chlorartinite	$\text{Mg}_2(\text{CO}_3)\text{Cl}(\text{OH})\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Vergasova, Filatov, Serafimova, Sergeeva	1998
20	Georgbokiite	$\text{Cu}_5\text{O}_2(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_2$	Vergasova, Semenova, Filatov, Krivovichev, Shuvalov, Ananiev	1999
21	Chloromenite	$\text{Cu}_5\text{O}_2(\text{SeO}_3)_4\text{Cl}_6$	Vergasova, Krivovichev, Semenova, Filatov, Filosofova	1999
22	Coparsite	$\text{Cu}_4\text{O}_2[(\text{As},\text{V})\text{O}_4]\text{Cl}$	Vergasova, Starova, Krivovichev, Filatov, Ananiev	1999
23	Urusovite	$\text{Cu}[\text{AlAsO}_5]$	Vergasova, Filatov, Gorskaya, Molchanov, Krivovichev, Ananiev	2000
24	Bradachekite	$\text{Cu}_4\text{Na}(\text{AsO}_4)_3$	Filatov, Vergasova, Gorskaya, Krivovichev, Burns, Ananiev	2001
25	Burnsite	$\text{CdCu}_7\text{K}_2\text{O}_2(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_9$	Krivovichev, Vergasova, Starova, Filatov, Roberts, Stiel	2001
26	Prewittite	$\text{Cu}_6\text{KPb}_{1,5}\text{ZnO}_2(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_{10}$	Shuvalov, Vergasova, Semenova, Filatov, Rudashevskiy	2004
27	Meniaylovite	$\text{AlCa}_4\text{Si}(\text{SO}_4)\text{F}_{13}\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Vergasova, Semenova, Yepifanova, Filatov, Chubarov	2004
28	Filatovite	$\text{K}[\text{Al}_2(\text{As},\text{Si})_2\text{O}_6]$	Vergasova, Krivovichev, Britvin, Burns, Ananiev	2004
29	Allochalkoselite	$\text{Cu}\cdot\text{Cu}^{2+}_5\text{PbO}_2(\text{SeO}_3)_2\text{Cl}_5$	Vergasova, Krivovichev, Britvin, Filatov, Burns, Ananiev	2004
30	Pauflerite	$\text{VO}[\text{SO}_4]$	Krivovichev, Vergasova, Britvin, Filatov, Kahlenberg, Ananiev	2005

Названия минералов

За меланоталлитом (*ит.*: черно-зеленый), определив хим. состав и кристаллохимию этого недостоверного минерала, мы сохранили историческое название. Вообще, в названиях новых минералов мы отдавали должное основателям отечественной вулканологии (влодавецит, пийпит, софиит); вулканологам, преждевременно ушедшим из жизни (меняйловит, аверьевит, пономаревит), руководителям современной вулканологии (федотовит, мархининит), вулканам (толбачит, ключевскит, алюмоключевскит), нашим любимым «краям света» (камчаткит, ленинградит), учителям и коллегам (георгбокиит, парагеоргбокиит, ильинскит, лесюкит, урусовит, бернсит, пауфлерит, брадачекит и др.). По химическому составу наиболее удачно назван, пожалуй, аларсит (алюминия арсенат $AlAsO_4$), но такая возможность представляется лишь в случае простого состава минерала.

Москвичи назвали свой новый минерал *вергасоваитом* в честь Лидии Павловны Вегасовой, с которой мы прошли свой долгий путь по Камчатке (*Bykova E. Y. et al. Vergasovaite $Cu_3O[(Mo,S)O_4SO_4]$, a new copper-oxymolybdate-sulfate from Kamchatka. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 1988 78 470-488*).

Один из новых минералов вулканических эксгаляций БТТИ назван моими учениками *филатовитом*. Минерал $K[Al_2As^{5+}SiO_8]$ относится к группе полевых шпатов, имеет структуру цельзиана $Ba[Al_2Si_2O_8]$ и является первым полевым шпатом с атомами пятивалентного элемента, заполняющими один из тетраэдров TO_4 (*Krivovichev S. V. et al. Eur. J. Mineral. 2004 16 533-536*).

6. НОВАЯ ФОРМА ПЕРЕНОСА МЕТАЛЛОВ ВУЛКАНИЧЕСКИМИ ГАЗАМИ

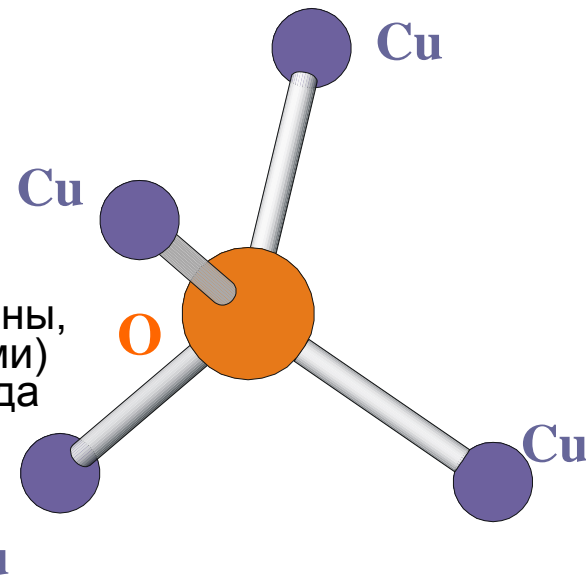
Расшифровка кристаллических структур новых минералов позволила выявить **новую – оксоцентрическую – форму переноса металлов вулканическими газами**. «Неутомимым» переносчиком металлов оказался дополнительный атом кислорода (см. Табл. 1) – электроотрицательность 3.5, валентность –2, вокруг которого атомы металла располагаются, в соответствии с sp^3 -гибридизацией, по вершинам тетраэдра (*Рис. 8*).

7. НОВАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ

На почве этих масштабных исследований (19 новых минералов с дополнительным кислородом из 30 новых минеральных видов, см. Табл. 1) систематизировалась и обобщалась в наших с С.В. Кривовичевым работах **новая кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров**. Эта кристаллохимия является обратной (по знаку заряда полииона) классической кристаллохимии силикатов и других кислородных соединений. Если силикаты строятся из анионных тетраэдров $[SiO_4]^{4-}$, то соединения новой кристаллохимии (прежде всего оксосоли), напротив, строятся из катионных тетраэдров XA_4 , напр. $[OCu_4]^{6+}$, в которых центральным атомом является анион X (напр., кислород O), а в вершинах располагаются атомы металла A (напр., Cu).

Рис. 8

Оксоцентрированный тетраэдр $[\text{OCu}_4]$ – один из наиболее жестких фрагментов кристаллической структуры минералов-оксосолей и одна из форм переноса металлов вулканическими газами



Такие анионоцентрированные тетраэдры могут соединяться между собой (полимеризоваться) не только через общие вершины, причем в одной вершине может сходиться более двух (до восьми) тетраэдров, но и, вследствие большого размера атома кислорода и его низкой валентности, через ребра (Рис. 9), в связи с чем новая кристаллохимия является обобщением кристаллохимии силикатов.

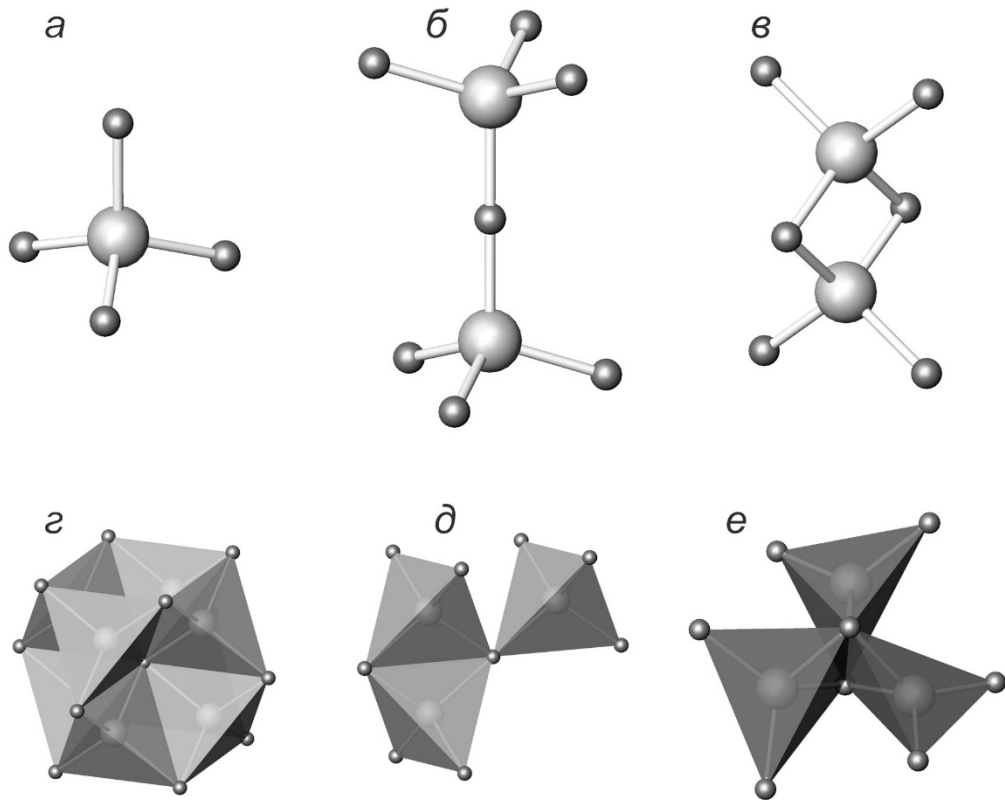


Рис. 9

Способы объединения тетраэдров OA_4 между собой

- а* – изолированный тетраэдр,
- б* – два тетраэдра, соединенных через вершину,
- в* – два тетраэдра, соединенных через ребро,
- г* – восемь тетраэдров, сходящихся в одной вершине,
- д* – три тетраэдра, сходящиеся в одной вершине,
- е* – три тетраэдра, делящие одно ребро.

Пример вершинного и реберного сочленения тетраэдров OA_4 в одном поликатионе дает цепочка, выполняющая структуру георгбокиита $Cu_5O_2(SeO_3)_2Cl_2$ (рис. 10) и парагеоргбокиита.

Рис. 10. Георгбокиитовая (поочередно вершинно- и реберносвязная) цепочка.

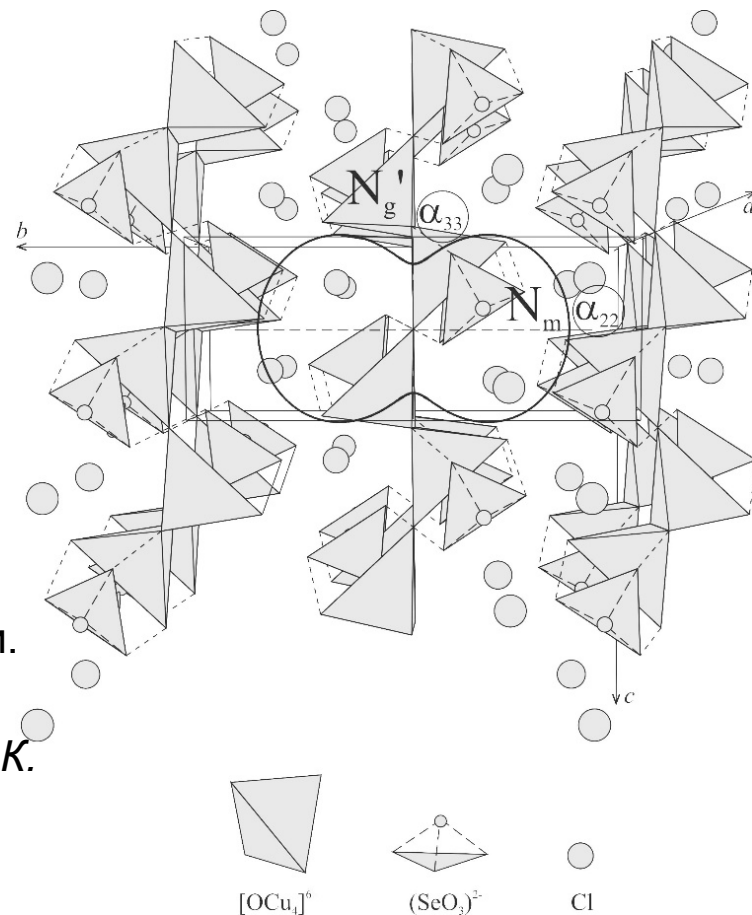
Такой, оксоцентрический, подход позволяет адекватно описывать **физические свойства** оксосолей. В частности, цепочке в георгбокиите, как наиболее прочному фрагменту структуры, параллельны направления наименьшего термического расширения α_{11} , наибольшего показателя преломления N_g и двух систем спайности.

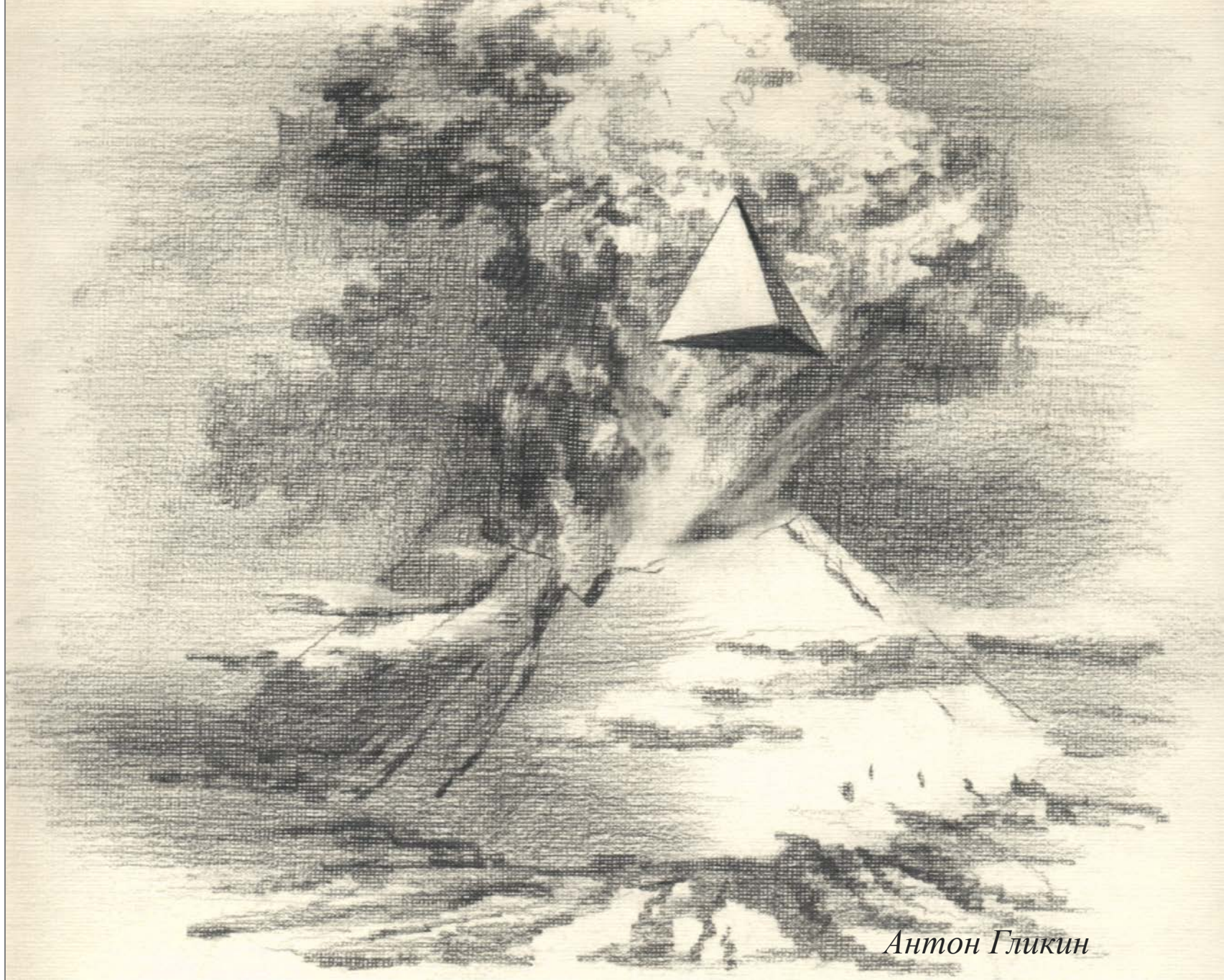
Основные положения новой кристаллохимии изложены в монографии: *Кривовичев С.В., Филатов С.К. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров. СПб. Изд-во СПбГУ. 2001. 200 с.*

В этой книге (2001 г.) описаны 115 типов анионоцентрических полиионов, т. е. почти столько же, сколько в силикатах за 100 лет их исследования. (См. также: *Филатов С.К. Соросовский образовательный журнал. 2005. № 2*).

За разработку этой темы молодой профессор, доктор наук С.В. Кривовичев (см. журнал «Сант-Петербургский университет», 2004, № 26 <http://www.spbumag.nw.ru>, <http://journal.spbu.ru>) был удостоен ряда высших научных наград для молодых ученых.

Символически проявление новой кристаллохимии на вулкане изобразил Антон Гликин (Фото 11).





Антон Гликин

Фото 11 “Tolbachik volcano erupts oxocentered tetrahedron” 1992

8. БОКСИТООБРАЗОВАНИЕ НА ВУЛКАНЕ

Фото 12

Подготовка к полету с бокситового поля I конуса БТТИ к Камню между I и II конусами (Вид на Острый Толбачик) 2005 г



На остывающем фумарольном поле I конуса Толбачинского извержения 1975-76 годов Л.П. Вергасовой, Р.С. Кутузовой и С.К. Филатовым впервые обнаружено современное эксгаляционное микробиологическое бокситообразование (*Вулканология и сейсмология*, 2004, № 1, с. 46-54; № 3, с. 48-53; *Зап. Всерос. мин. общ-ва*, 2004, ч. 133, № 3, с. 1-11).

Микроорганизмы (*Metallogenium Siderococcus*), занесенные на вулканический темно-серо-красный пепел и шлак базальтового состава, в процессе жизнедеятельности при температуре 30-50 °С выделяют кислоты и разлагают алюмосиликатное стекло. Освободившийся алюминий захватывается стенками микроорганизмов (водорослей?) и концентрируется в новом ярко-желтом (в сухом виде) и оранжевом (во влажном состоянии) минерале **лесюките*** $Al_2(OH)_5Cl \cdot 2H_2O$ (Фото 12), а также в типичных фазах бокситов – *гибbsite* $Al(OH)_3$ и обогащенной алюминием *аморфной фазе*. До сих пор была хорошо известна концентрация микроорганизмами элементов переменной валентности и, прежде всего, Fe и Mn.

* Минерал назван в память о нашем друге Григории Ивановиче Лесюке, инженере рентгеновской лаборатории Кафедры кристаллографии ЛГУ, где выполнялись наши исследования (*Вергасова Л.П., Степанова Е.Л., Серафимова Е.К., Филатов С.К. Записки Всерос. минер. общ-ва. 1997. № 2. С. 104-110*).

9. ТРИДЦАТЬ ЛЕТ СПУСТЯ

В 2005 году исполнилось 30 лет с начала Толбачинского извержения 1975-76 годов. На Юбилейной конференции в Институте вулканологии и сейсмологии РАН (так теперь называется Институт вулканологии) были подведены итоги, наша группа представила доклад – подарок юбилярам. Юбилярами были вулканы и вулканологи, подарками – минералы, открытые нами и названные в честь юбиляров.



Фото 13

**Вулкан
Толбачик**

2005

*Вулкану посвящен
наш первый
новый минерал
толбачит, CuCl_2
(Вергасова, Филатов,
1983)*


*Эта площадка
расположена
перед базой
ленинградских
создателей
луноходов*

**Сейчас здесь
извергается
Плоский
Толбачик-2012**



Фото 14

Группа юбиляров: Флеров, С. Сергеев, Ю. Дубик, А. Озеров, Е. Гордеев, С. Филатов, Ю. Кузьмин 2005 г

A photograph of three people standing on a paved road in a rural, open landscape. On the left is a woman with short blonde hair, wearing a blue and white jacket over a patterned top and tan pants. In the center is a man with thinning brown hair, wearing a dark brown trench coat over a plaid shirt. On the right is a woman with dark hair, wearing sunglasses and a green jacket over a black top. In the background, there is a green and white vehicle on the left, a grassy field, and distant mountains under a blue sky with white clouds.

*Слева направо:
Р.С. Бубнова
С.А. Федотов
Л.П. Вергасова*

*Фото 15
На Камчатке две дороги – туда и обратно.
Три ленинградца на пути «туда» - к Толбачику.
2005 г.*

10. О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Согласно теории одного из крупнейших вулканологов нашей страны, доктора геолого-минералогических наук, профессора Е.К. Мархинина, жизнь на нашей планете зародилась на вулканах.

Во время извержения над вулканом нередко возникают пепло-шлаковые тучи, отдельные участки такой тучи электризуются, порождая вулканические молнии (*Фото 16*). Энергии молнии, по мнению Е.К. Мархинина, достаточно для синтеза простейших биологических клеток.

*В 2012 году
нам посчастливилось
назвать новый
минерал с
в-на Толбачик
мархининитом*

Фото 16

**Молния,
пронизывающая
пепло-шлаковую
тучу над I конусом
БТТИ**

1975

Снимок

В. Гиппенрейтера



11. Тридцать шесть лет спустя



Фото 17 Толбачик-2012

Нам повезло – следующее после БТТИ извержение в Толбачинском доле произошло не столетия спустя, а всего лишь 36 лет

12. ИТОГИ (Промежуточные?)

Совместные экспедиции на Толбачик-1975 Института вулканологии РАН и Кафедры кристаллографии ЛГУ (СПбГУ) и использование рентгеновских методов исследования продуктов вулканизма привели к следующим результатам:

1. Выделена и изучена новая генетическая группа минералов вулканических эксгальций (*Приложение 1*)
2. К 30-летию вулкана на нем открыты 35 новых минералов эксгальций, из них 30 – группой кристаллографов СПбГУ и вулканологов ИВС РАН (см. *Табл. 1* и *Приложение 2*)
3. Расшифрованы кристаллические структуры новых и редких эксгальционных минералов (*Приложение 3*)
4. По структурным данным обнаружены минералы, содержащие тетраэдры $[\text{OSu}_4]^{6+}$ (см. *Табл. 1*, п. 3 презентации и *Приложение 4*)
5. Расшифрованные структуры и литературные данные позволили обобщить и систематизировать новую кристаллохимию оксосолей и других соединений с анионоцентрированными тетраэдрами (см. п. 7 и *Приложение 5*)
6. Благодаря расшифрованным структурам выявлена новая – оксоцентрическая форма переноса металлов вулканическими газами (см. *Табл. 1*, п. 6 и *Приложение 6*)
7. Методом терморентгенографии изучено термическое поведение эксгальционных минералов (*Приложение 7*)
8. В практику вулканологии внедрен метод химических газотранспортных реакций с целью моделирования эксгальционных процессов и синтеза минералов вулканических эксгальций (*Приложение 8*)
9. На современном, низкотемпературном, постэруптивном этапе извержения выявлено и изучено биоминералогическое бокситообразование на вулканах (см. п.8 и *Приложение 9*)
10. Павлом Черепанским (в то время студентом) создан фильм к 30-летию извержения БТТИ (сокращенная версия дана в *Приложении 10*)
11. Коллективом экспедиции 2013 года при решающем участии Ярослава Бирюкова создан фильм «Огненный край Земли» (*Приложение 11*)

ИТОГИ (Продолжение)

По материалам Толбачинского извержения выполнены десятки курсовых, дипломных и магистерских работ, защищены три кандидатские диссертации (Л.П. Вергасова, 1988; С.В. Кривовичев, 1996; Р.Р. Шувалов, 2001), докторская диссертация С.В. Кривовичева (2001), частично – докторская диссертация С.К. Филатова, принята к защите докторская диссертация О.И. Сийдры, издана упоминавшаяся монография Кривовичева и Филатова.

Работы кафедры кристаллографии СПбГУ на вулканах ведутся по сей день и по-прежнему – энтузиастами. Эстафету приняли Сергей Кривовичев, Олег Сийдра, Евгений Назарчук и другие представители «племени молодого, незнакомого».

Ежегодно в поле из Петропавловска-Камчатского выезжает Л.П. Вергасова, раз в пять лет в Толбачинских юбилейных экспедициях участвует С.К. Филатов. Периодически на вулканах Камчатки проходят производственную практику студенты кафедры.

И, несмотря на все это, следует признать, что с охлаждением вулкана и затуханием нашего «пыла» интенсивность работ кафедры на Толбачике неуклонно понижалась.

Пробуждение Толбачика в 2012-2013 гг. явилось «вторым дыханием» этого, уже сейчас ставшего наиболее изученным, вулкана мира (см. фильм Я.П. Бирюкова, Л.А. Гореловой, А.П. Шаблинского и др. в Прил. 11 и тексты О.И. Сийдры). Вместе с тем популярность Толбачика достигла уровня «Золотой лихорадки».

К презентации «40 лет БТТИ»

- 1. Новая генетическая группа минералов вулканических эксгаляций.**
Приложение 1 – Статья: Л.П. Вергасова, С.К. Филатов, Вулканические эксгаляции – особая генетическая группа минералов, Записки ВМО, 1993, 122, № 4, с. 68-76 (копия готовится).
- 2. Новые минералы вулканических эксгаляций БТТИ.**
Приложение 2 – Таблица 1 из Презентации: данные на 2005 г. *Таблица 2*, данные на 2015 г. *Статья:* Л.П. Вергасова, С.К. Филатов «Новые минералы в продуктах фумарольной деятельности БТТИ, Вулканонология и сейсмология, 2012, № 5.
- 3. Кристаллические структуры новых и редких эксгаляционных минералов БТТИ.**
Приложение 3 – Например, рис. 8-10 из Презентации. Другие примеры и ссылки на первоисточники готовятся.
- 4. Минералы БТТИ, содержащие тетраэдры $[\text{OSi}_4]^{6+}$**
Приложение 4 – Таблица 1 и п. 3 из Презентации.
- 5. Обобщение и систематизация новой кристаллохимии оксосолей.**
Приложение 5 – Пп. 5, 7 из Презентации. *Книга:* С.В. Кривовичев, С.К. Филатов «Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров», СПбГУ, 2001 (вводные слова к книге). *Статья:* С.К. Филатов, Т.Ф. Семенова, Л.П. Вергасова «Рождение новой кристаллохимии на вулкане», Программа «Университеты России», ч. II, с. 16-20, 1994.
- 6. Новая – оксоцентрическая – форма переноса металлов вулканическими газами.** *Приложение 6* – П. 6 из Презентации.

К презентации «40 лет БТТИ» (продолжение)

7. Метод терморентгенографии в вулканологии.

Приложение 7 – Монография: С.К. Филатов «Высокотемпературная кристаллохимия», Л.: Недра, 1990. *Статья:* Л.П. Вергасова, С.К. Филатов, Новые минералы в продуктах фумарольной деятельности БТТИ, Вулканология и сейсмология, 2012, № 5.

8. Метод химических газотранспортных реакций в экспериментальной минералогии вулканических эксгаляций.

Приложение 8 – Статья: С.К. Филатов, М.В. Разумеенко, Л.П. Вергасова и др., Моделирование процесса образования минералов из вулканических газов методом химического транспорта, Материалы первой сессии Камчатского отделения ВМО, ч. 2, с. 62-67, 1992. *Статья:* Л.П. Вергасова, С.К. Филатов «Новые минералы в продуктах фумарольной деятельности БТТИ, Вулканология и сейсмология, 2012, № 5.

9. Современное биоминералогическое бокситообразование на БТТИ.

Приложение 9 – П. 8 из Презентации. Три статьи, готовятся копии.

10. Фильм «Толбачик 1975+30» в Приложении 10.

11. Фильм «Огненный край Земли» в Приложении 11.

12. Вулканогенно-эруптивный генезис алмазов.

Приложение 12 – Статья: Е. И. Гордеев, Г. А. Карпов, Л. П. Аникин, С. В. Кривовичев, С. К. Филатов, А. В. Антонов, А. А. Овсянников, Алмазы в лавах Трещинного Толбачинского извержения на Камчатке, ДАН, 2014 454 № 2.