

Таблица 2

Содержания ЭПГ и Au в породах габброидного массива района оз. Виетуккалампи, мг/т

№	Pt	Pd	Au	№	Pt	Pd	Au
1	16	8	13	14	Не обн.	13	550
	16	Не обн.	16		Не обн.	14	46
2	Не обн.	Не обн.	30	15	<5	<2	<1
3	6	16	2	16	Не обн.	8	13
					Не обн.	Не обн.	13
4	7	20	1	17	16	10	7
					24	39	240
5	Не обн.	Не обн.	18	18	<5	<2	2
	Не обн.	3	33				
6	Не обн.	Не обн.	12	19	Не обн.	Не обн.	150
	Не обн.	Не обн.	110		Не обн.	Не обн.	680
7	Не обн.	3	18	20	Не обн.	Не обн.	3900
	Не обн.	3	19		Не обн.	13	3500
8	Не обн.	5	19	21	Не обн.	Не обн.	120
	Не обн.	5	31		Не обн.	Не обн.	96
9	Не обн.	Не обн.	Не обн.	22	Не обн.	Не обн.	91
	Не обн.	4	19		Не обн.	Не обн.	300
10	<2	<1	17	23	<5	<2	<1
			17				
11	18	8	16	24	Не обн.	Не обн.	9
	Не обн.	Не обн.	26		Не обн.	Не обн.	12
12	Не обн.	5	15	25			50
	Не обн.	8	49				
13	Не обн.	Не обн.	33				
	Не обн.	Не обн.	25				

Результаты определений МПГ и Au приведены в табл. 2. В горизонтах оруденелых габброидов (рис. 2, профиль 1–2, 3–4) Виетуккалампиного массива и на участке юго-западнее от него содержания суммы ЭПГ не превышают 10–20 мг/т, наиболее обычные первичные концентрации Au – в пределах 10–30 мг/т. Аномальные концентрации Au достигают 110 мг/т. Аномальные концентрации Au на данном участке, скорее, следует связывать с перераспределением первичного рудного вещества, в том числе и под воздействием кислого магматизма, тем более

что в сульфидсодержащей дайке метадацитов и кварц-куммингтонитовых метасоматитах содержание Au достигает 110 мг/т. Общей же тенденцией является нарастание концентраций Au в северо-восточном направлении по профилю до 550, 240, 150–680, 3500–3900, 96–120, 91–300 мг/т. Увеличение концентраций золота пространственно сближено с областью развития максимального количества даек, секущих метагаббро, и появляется в рудных габброидах с маломощными кварцевыми прожилками и развитием вкрапленности пирита.

КЛИНОПИРОКСЕНЫ НОДУЛЕЙ И МЕГАКРИСТОВ ЛАДОГАЛИТОВ И РЕКОНСТРУКЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА АЛМАЗОНОСНЫХ ПРОТОПОРОД

Р. А. Хазов

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

В Западном Приладожье в трубках взрыва ладогалитов [1] установлено присутствие в нодулях и мегакристаллах зерен алмазов класса –2+1 и –0,5+0,2 мм [2] и микроалмазов [3]. Нодули сложены средне-крупнозернистыми породами с меняющимся минеральным составом от клинопироксенсодержащего апатитового слюдита

(флогопит – Mg биотит) до апатитсодержащего клинопироксенита (табл.). Мегакристаллы, являясь дезинтегрантами нодулей, представлены клинопироксенами – высокоглиноземистыми авгитами, обогащенными Na и K (жадеитовый минал), флогопитами – Mg биотитами и фтороапатами [2, 4].

Химический состав нодулей из диатремовых ладогалитов

Окислы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	31,78	36,00	36,28	32,02	41,69	41,19	36,80	38,42	37,41	42,70	37,88	46,96	48,06	+1,56–1,24
TiO ₂	3,70	2,50	2,90	3,04	1,26	1,72	1,65	0,85	0,36	0,66	2,60	0,90	0,72	+0,19–0,24
Al ₂ O ₃	12,36	12,02	13,81	13,25	9,59	8,95	8,93	5,76	4,90	6,83	7,0	5,65	7,58	+1,76–2,38
Fe ₂ O ₃	3,06	4,03	3,70	3,78	4,84	4,32	3,49	2,41	2,73	3,01	10,08	4,02	2,91	+0,91–1,08
FeO	8,04	7,62	6,75	7,76	6,18	9,16	6,94	6,11	5,82	5,57	8,48	7,90	5,03	+1,41–1,32
MnO	0,068	0,083	0,097	0,061	0,110	0,115	0,170	0,095	0,075	0,097	0,29	0,145	0,16	+0,05–0,06
MgO	12,20	12,40	10,84	11,89	11,11	10,02	10,90	10,30	9,80	11,90	8,87	12,55	12,85	+1,19–1,54
CaO	11,50	8,55	9,67	9,88	14,12	15,33	15,40	21,53	25,77	20,47	16,82	15,86	18,83	+1,28–2,61
BaO	1,12	1,17	1,23	1,89	0,64	0,75	1,26	0,51	0,29	0,22	0,29	0,50	0,06	+0,16–0,05
SrO	0,35	0,31	0,45	0,39	0,34	0,47	0,58	0,43	He опр.	0,27	0,38	0,17	0,12	+0,07–0,11
Na ₂ O	0,20	0,12	0,84	0,30	1,15	1,16	1,12	1,14	1,16	1,46	1,05	1,23	1,53	+0,29–0,48
K ₂ O	6,81	7,44	6,56	7,14	4,0	1,65	3,22	1,70	0,51	0,61	0,98	1,71	0,36	+0,35–0,26
H ₂ O	0,20	0,20	0,09	0,31	0,22	0,28	0,18	0,30	0,33	0,16	0,13	0,22	0,19	+0,28–0,17
ппп	1,60	1,69	1,80	1,45	1,10	1,62	1,61	1,98	1,10	1,68	1,56	1,50	1,45	+0,76–0,66
P ₂ O ₅	6,50	5,90	4,90	6,29	3,15	3,50	7,20	8,00	9,55	3,90	3,52	0,33	0,18	+0,22–0,12
Σ	99,49	100,07	99,95	99,46	99,51	100,23	99,45	99,54	99,82	99,53	99,93	99,66	100,03	

Пр и м е ч а н и е. 1–4 – апатитовые слюдиты (2, 3 – пироксенсодержащие); 5, 6 – апатито-слюдистые клинопироксениты; 7, 8 – слюдисто-apatитовые клинопироксениты; 9 – апатитовый клинопироксенит; 10, 11 – апатитсодержащий клинопироксенит; 12 – слюдистый клинопироксенит; 13 – клинопироксенит, имеющий средний состав, вычисленный по 15 анализам мегакристов клинопироксенов; 14 – пределы отклонений («+» – более, «-» – менее) от среднего состава клинопироксенита.

В некоторых клинопироксенах из нодулей и мегакристов в разной степени сохранности имеются реликты магматической зональности, предшествующей процессу флюидного щелочнокалиевого метасоматоза. Состав пироксенов варьирует по петрографической диагностике от клиноэнстатит-пижонита до жадеитсодержащего клиногиперстена, а также омфацитов различной железистости и щелочности. По данным термобарометрических исследований, в них сохраняются признаки глубинной кристаллизации из силикатного расплава до отделения от него летучих компонентов (и до флюидного щелочнокалиевого метасоматоза) при температуре гомогенизации расплавных, в том числе жидкоуглекислотных, включений в пределах $1340\text{--}1355 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ [5].

Наличие высоких содержаний [2] несовместимых элементов K, Ti, P, Pb, Sr, Ba, Zn, V, Nb, Ta, Th, U, легких PЗЭ и летучих компонентов (F, Cl, P₂O₅, CO₂, H₂O) в нодулях и вмещающих ладогалитах, наряду с их текстурно-структурными особенностями и данными изотопии стронция (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr варьируют от 0,7033 до 0,7048 ± 0,0001), свидетельствуют о флюидном метасоматозе пород верхней мантии (комплекс перидотитов – эклогитов) веществом типа KREEP (калий, редкие земли, фосфор). Отсутствие в ладогалитовых диатремах глубинных включений шпинельсодержащих пород и мегакристов амфибола дает основание, исходя из экспериментов [6], предположить, что флюидный щелочнокалиевый метасоматоз происходил в субсолидусных (деформация клинопироксенов) условиях при давлениях не менее 30 кбар. Отсутствие (за исключением клинопироксенов) породообразующих минералов комплекса перидотитов – эклогитов: оливинов, ортопироксенов и пиропов – обусловлено интенсивностью процесса флюидного метасоматоза, который практически привел к полному их замещению барий-титансодержащим флогопитом – Mg биотитом, фтор-apatитом, титанитом, алланитом и др., иногда с сохранением соответствующих реликтов, псевдомор-

фоз и микроакцессориев. По экспериментальным данным [6], клинопироксены при давлении 30 и более кбар при щелочнокалиевом метасоматозе не подвергаются флогопитизации. Непрерывающийся процесс флюидного метасоматоза, в соответствии с экспериментальными исследованиями [7], приводит к понижению температуры солидуса и к появлению расплава, в рассматриваемом случае ладогалитового с нодулями и мегакристами в диатремах и дайках или без них в интрузивной фации [2].

Кристаллизация ладогалитов, начавшаяся с клинопироксенов, осуществлялась из гетерогенной среды: из расплава и флюида, включающего, по-видимому, трансмагматическую и отделившуюся от расплава составляющие. Температура их кристаллизации, определенная методом гомогенизации расплавных включений, в диатремовом меланоладогите составляла $1250 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, а в гипабиссальных мелано- и лейколадогитах (соответственно) – 1180 и $1105 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ [5].

В нодулях и мегакристах клинопироксенов выявлены, помимо алмазов, микроакцессории хромитов, гранатов (альмандин-пиропового ряда), пирит-пирротин, ильменитов, рутила, муассонита, коэсита (?) и др. Кроме того, в протоолчных пробах изредка встречаются также хромиты, рутил, халькопирит, гранаты альмандин-пиропового ряда с показателями преломления $N = 1,78$ сиреневого цвета и $N = 1,738\text{--}1,740$ бледно-розового цвета с сиреневым оттенком и оливин, играющие индикаторную роль в рассматриваемом парагенезисе. В нодулях преимущественно апатит-слюдистого состава, образованных в процессе флюидного щелочнокалиевого метасоматоза, нередко наблюдаются отчетливые псевдоморфозы Mg биотита по оливинам, ортопироксенам, альмандин-пироповым гранатам. Иногда последние замещаются тальком или более сложными минеральными агрегатами. Из нодулей апатитсодержащих слюдитов методом термохимического растворения были выделены наиболее крупные зерна (обломки) алмазов с включениями чешуек графита и слюды [2].

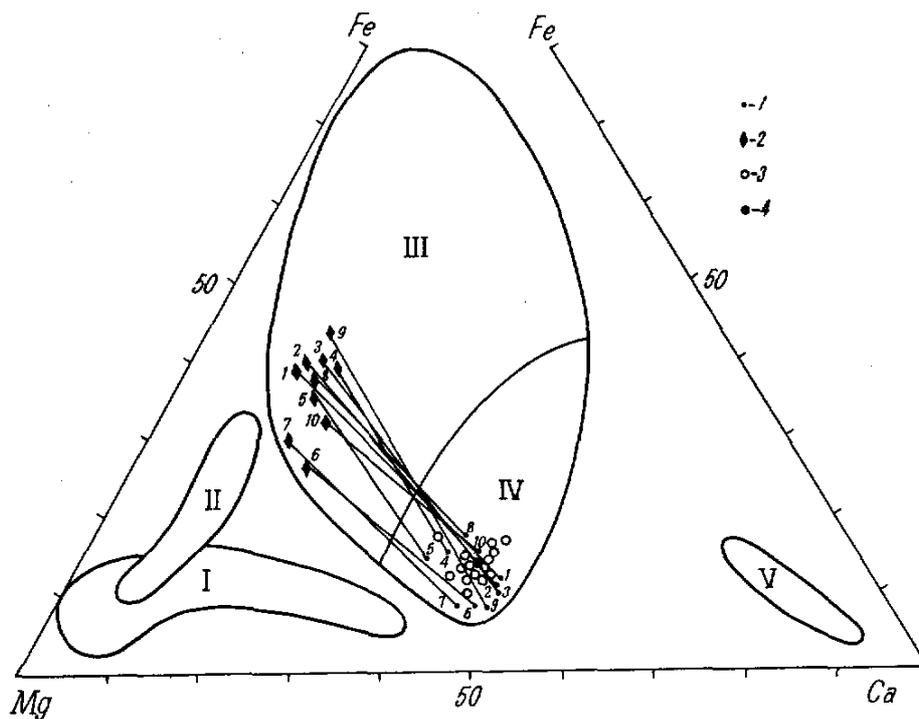


Рис. 1. Главные типы алмазных пород из кимберлитовых трубок, выделенные по изоморфным рядам содержащихся в них граната и клинопироксена, с фигуративными точками гранатов и клинопироксенов, соединенными коннодами [8], а также клинопироксенов из мегакристов и нодулей диатремовых ладогалитов:

I – перидотиты; II – пироксениты и флогопит-ильменитовые пегматиты (верлитовая серия); III – эклогиты; IV – кианитовые эклогиты; V – гроспидиты. 1, 2 – клинопироксены (1) и гранаты (2) из нодулей и мегакристов гранатовых вебстеритов и клинопироксенитов. Соединены коннодами 1–10, см. рис. 2; 3, 4 – клинопироксены из мегакристов и нодулей в диатремовых ладогалитах (3) и их средний состав (4)

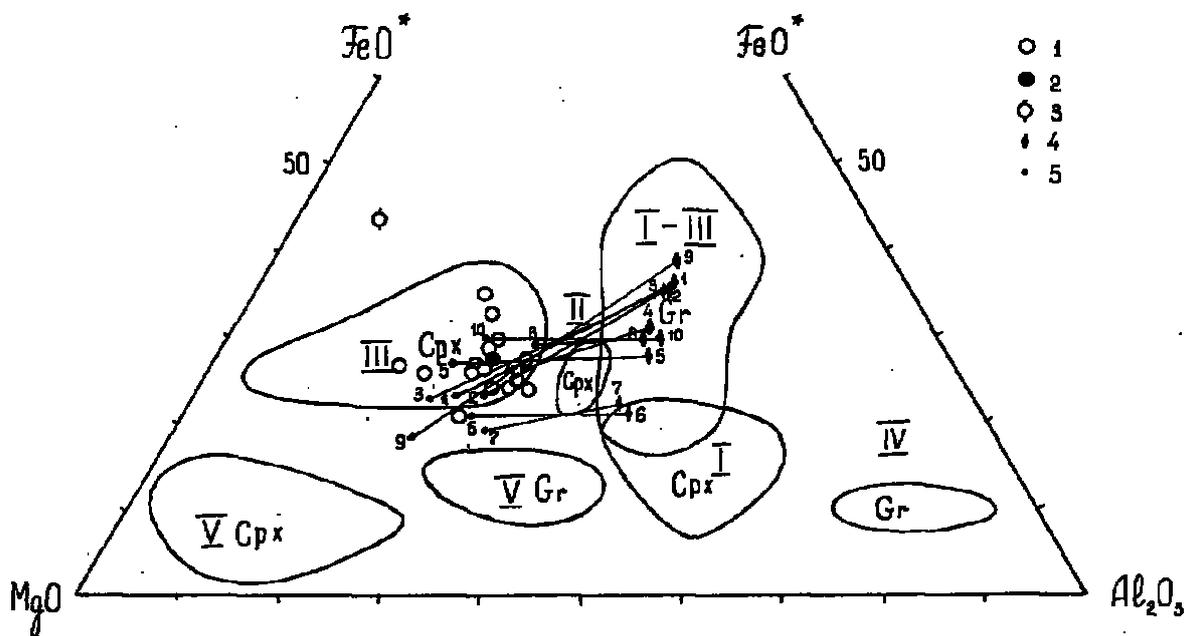


Рис. 2. Систематика алмазных пород из кимберлитовых и лампроитовых трубок, различающихся по составам гранатов и клинопироксенов, находящихся в алмазах в виде включений [9]:

I – эклогиты, II – пикриты, III – гранатовые пироксениты, IV – гроспидиты и V – пироповые перидотиты. 1 – клинопироксены мегакристов и нодулей из диатремовых ладогалитов; 2, 3 – средний состав клинопироксенов: 2 – из мегакристов и нодулей (по 15 ан.), 3 – из диатремовых ладогалитов (по 6 ан.); 4 – гранаты и 5 – клинопироксены. Парагенезисы граната (Gr) и клинопироксена (Cpx) соединены коннодами: 1–3 – из нодулей гранатовых вебстеритов в кимберлитовой (пикритовой) трубке о. Елового [10]; 4, 5 – мегакристаллы (4) и друзы кристаллов граната и клинопироксена (5) из вебстерита вулкана Шаварын-Царам [11]; 6–8 – из нодулей гранатовых вебстеритов и клинопироксенитов из нефелиновых туфов о. Оаху [11]; 9 – из нодуля гранатовых вебстеритов с флогопитом в кимберлитовой трубке Удачная [11]; 10 – гранатовый клинопироксенит из массива Ронда [11]. Fe* – общее железо в виде FeO

Полученные результаты с учетом существующих представлений [9] о том, что кимберлиты и лампроиты не имеют собственной алмазной минерализации, а наследуют ее при замещении интрузивных первичных алмазодержащих пироповых перидотитов, эклогитов и других флюидными расплавами, что может быть отнесено и к ладогалитам, позволяют по клинопироксенам из нодулей и мегакристов диатремовых ладогалитов на основе парагенетического анализа провести реконструкцию минерального состава первичных алмазоносных пород, существовавших до проявления флюидного щелочнокалиевого метасоматоза. С этой целью использована предложенная А. А. Маракушевым [8, 9] систематика алмазоносных пород в кимберлитовых и лампроитовых трубках по составам гранатов и клинопироксенов, как включающих алмазы (рис. 1), так и находящихся в алмазах в виде включений (рис. 2). На диаграммах (рис. 1, 2) клинопироксены из нодулей мегакристов диатремовых ладогалитов распо-

ложены в поле алмазоносных гранатовых пироксенитов. К нему же, по [10, 11], приурочены и клинопироксены, находящиеся в парагенезисах с гранатами, соединенные с ними коннодами. По аналогии парагенезисов можно предположить, что гранаты, ортопироксены и оливин, находившиеся в парагенезисе с клинопироксенами из нодулей и мегакристов диатремовых ладогалитов до флюидного щелочнокалиевого метасоматоза и образования ладогалитовой магмы, относились: гранаты — к альмандин-пироповому ряду (43–64% пиропового минала) с примесью андрадит-гроссуляровых миналов; ортопироксены — к глиноземистым бронзитам, а оливин, видимо, присутствовал в количествах, не превышающих 5%.

Таким образом, алмазоносные протопороды, вероятно, до флюидного щелочнокалиевого метасоматоза были представлены гранатовыми вебстеритами и гранатовыми клинопироксенитами эклогитовой фации.

1. Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Трубки взрыва в Карелии // ДАН. 1985. Т. 285, № 4. С. 975–977.

2. Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. СПб., 1993. 217 с.

3. Khazov R. A. et al. Diamonds in ladogalites // Precambrian industrial minerals of Karelia. Petrozavodsk, 1993. P. 51–52.

4. Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Мегакристаллы в трубках взрыва Карелии // ДАН. 1991. Т. 318, № 5. С. 1216–1219.

5. Толмачева Е. В., Качалов М. В., Хазов Р. А. и др. Включения минералообразующих сред в ладогалитах и мегакристаллах клинопироксена // Тез. докл. симпозиума. Благородные металлы и алмазы Севера Европейской части России. Петрозаводск, 1995. С. 179–180.

6. Эдгар А. Д., Арима М. Экспериментальное изучение калиевого метасоматоза с использованием модели

пиролитовой мантии и его значение для выявления генезиса высококалиевых магм // 27-й Междунар. геол. конгр. Т. 9. М., 1984. С. 246–258.

7. Kushiro I. Stability amphibole and phlogopite in the upper mantle // Year Book. Washington. Carnegie Inst. V. 68. 1970. P. 246–247.

8. Маракушев А. А. Минеральные ассоциации алмаза и проблема образования алмазоносных магм // Очерки физико-химической петрологии. Вып. XIII. М., 1985. С. 5–53.

9. Маракушев А. А. и др. Полифациальность алмазоносных пород кимберлитовых и лампроитовых трубок // ДАН. 1994. Т. 337, № 4. С. 490–493.

10. Шарков Е. В., Пухтель И. С. Минералы эклогитов (гранатовых вебстеритов) и эклогитоподобных пород из трубок взрыва о-ва Еловый (Кольский п-ов) // Глубинные ксенолиты и строение литосферы. М., 1987. С. 127–447.

11. Магматические горные породы. Т. 5. М., 1988. 508 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МИНЕРАЛОВ КАРЕЛИИ

В. В. Щипцов

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

По определению Ф. В. Чухрова, «...типоморфными считаются минералы, образующиеся в определенных условиях и позволяющие судить об этих условиях. К типоморфным особенностям относят различные черты минералов, которые позволяют конкретизировать условия их образования в определенных ассоциациях» [1]. В настоящее время получила развитие новая область прикладной минералогии — это технологическая минералогия, предметом которой является изучение минералов

как объектов переработки с помощью различных методов, прежде всего, технологий обогащения. При развитии направления технологической минералогии играют значительную роль типоморфные особенности минералов и минеральных ассоциаций, влияющие на показатели переработки руд, т. е. на технологические свойства руд и минералов. В. М. Изойтко [2] обобщила материалы по технологической минералогии относительно железных, медно-никелевых, вольфрамовых, оло-