

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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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-пизонита 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, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) в нодулях и вмещающих ладогалитах, наряду с их текстурно-структурными особенностями и данными изотопии стронция (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 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].

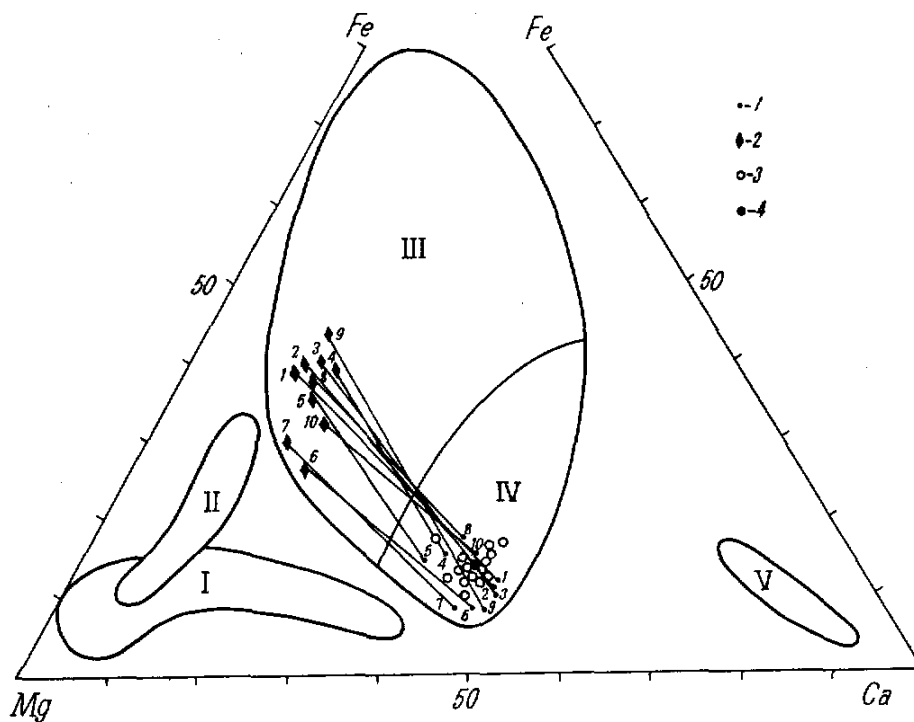


Рис. 1. Главные типы алмазных пород из кимберлитовых трубок, выделенные по изоморфным рядам содержащихся в них граната и клинопироксена, с фигуративными точками гранатов и клинопироксенов, соединенными коннодами [8], а также клинопироксенов из мегакристов и нодулей диатремовых ладогалитов:

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)

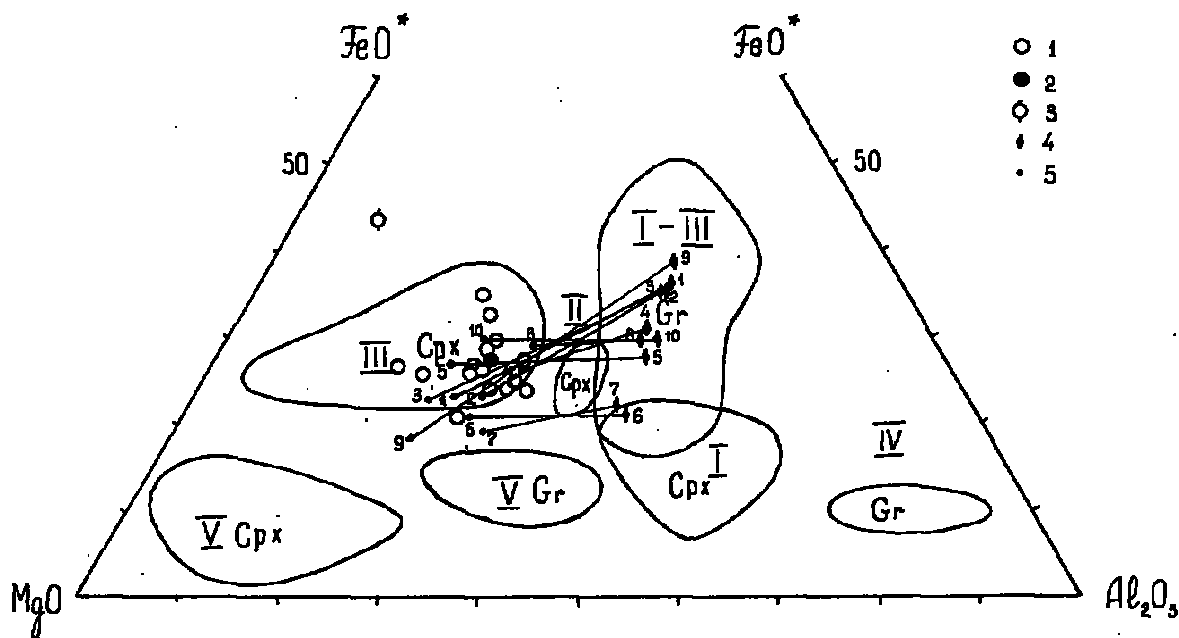


Рис. 2. Систематика алмазных пород из кимберлитовых и лампроитовых трубок, различающихся по составам гранатов и клинопироксенов, находящихся в алмазах в виде включений [9]:

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 (Crx) 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. симпоз. 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-