

УДК 549.211:548.4

ВКЛЮЧЕНИЯ ПИРОПА В ХРОМШПИНЕЛИДАХ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ И ЛАМПРОИТОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАГЕНЕЗИСА И ГЛУБИННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ

© 2004 г. Академик Н. В. Соболев, А. М. Логвинова

Поступило 22.07.2004 г.

Хромшпинелиды являются постоянными акцессорными минералами широкой серии ультраосновных пород, представленных дунитами, гарцбургитами, лерцолитами, вебстеритами и верлитами в различных геологических обстановках и относящихся к различным фациям глубинности. Особое разнообразие состава хромшпинелидов характерно для кимберлитов, где они представлены макрокристаллами и микрокристаллами в основной массе [1]. Микрокристаллы основной массы обычно не превышают размеров 0.25 мм и кристаллизуются в конечные этапы становления кимберлитов в условиях пониженных давлений. Макрокристаллы хромшпинелидов представляют собой часть первичных минералов шпинельсодержащих перидотитов различных фаций глубинности – шпинелевой, графит-пироповой и алмаз-пироповой – и являются реликтами полностью дезинтегрированных ксенолитов соответствующих перидотитов. Наряду с пиропами и пикроильменитами они составляют часть концентрата тяжелой фракции кимберлитов, однако для лампроитов они преобладают над остальными минералами концентрата.

Сенсационное открытие высокохромистых субкальциевых пиропов, резко обогащенных MgCr-компонентом (кноррингитом), по сравнению с типичными пиропами из кимберлитов, обнаруженных в виде включений в алмазах различных месторождений мира [2, 3], а также находящихся отдельно от алмаза, но сосуществующих с ним в ксенолитах алмазоносных пироповых серпентинитов [4], позволило сформулировать предположение и привести конкретные доказательства присутствия подобных пиропов и ассоциирующих с ними высокохромистых шпинелидов только в концентратах алмазоносных кимберлитовых трубок [5–7]. Метод оценки глубинности и алмазоносности кимберлитов по присутствию пиропов и хромитов, аналогичных включениям в алмазах, непосредственно

в концентратах уже в течение многих лет является главным в практике поисковых работ на алмазы во всем мире.

В отличие от пиропов кимберлитов, характеризующихся богатой цветовой гаммой, хромшпинелиды являются внешне весьма однообразными. Единственной возможностью оценки их вероятного парагенезиса и условий образования являются целенаправленные поиски минеральных включений, в особенности пироба, в макрокристаллах, размеры которых превышают 0.3–0.5 мм.

В результате систематического дробления более 10000 зерен хромшпинелидов, отобранных случайным образом из концентратов 10 алмазоносных кимберлитовых и лампроитовых тел, выявлено 75 образцов, содержащих включения пироба. Для всех изученных кимберлитовых трубок количество обнаруженных включений пироба составляет в среднем около 0.3% всех исследованных хромшпинелидов. Эти включения встречаются как группами (2–3 зерна пироба), так и преимущественно в виде одиночных округлых кристаллов с множеством мелких граней. Размеры включений варьируют от 0.01 до 0.1 мм. В хромшпинелидах из лампроитов пиробы встречаются значительно реже, примерно в 0.1% случаев [8].

Химический состав включений пироба и вмещающих макрокристаллов хромшпинели изучен с применением рентгеноспектрального микроанализатора “Сamebax-micro”, по стандартной методике. Результаты представительных анализов приведены в табл. 1, а соотношение CaO и Cr₂O₃ для всех проанализированных пиропов представлено на рис. 1а.

В связи с тем, что в распоряжении авторов оказался первичный материал концентратов, неравномерно представленный для каждой из изученных трубок, итоговое количество образцов хромшпинелидов, содержащих включения пироба, зафиксированное для каждой трубки, оказалось различным. Наибольший объем хромшпинелидов оказался доступным для изучения из высокоалмазоносных кимберлитовых трубок Интернациональная и им. XXIII партсъезда (Якутия). Для этих трубок в

*Институт минералогии и петрографии
Сибирского отделения Российской Академии наук,
Новосибирск*

Таблица 1. Представительные анализы гранатов и вмещающих хромитов из кимберлитов и лампроитов

Компонент	Интернациональная							им. XXIII партсъезда			
	I-8	I-13	I-15	I-33	I-39	I-51	I-33	23/4	23/26	23р/29а	23р/29б
Гранат-включение											
SiO ₂	42.6	40.3	40.9	41.9	40.5	41.7	41.9	41.3	41.6	40.6	41.0
TiO ₂	0.04	0.16	0.15	0.07	0.33	0.10	0.16	0.04	0.18	0.13	0.13
Al ₂ O ₃	22.0	17.6	19.3	20.5	16.0	16.9	21.5	17.7	21.1	15.1	15.7
Cr ₂ O ₃	2.32	6.03	4.47	4.02	8.41	8.56	1.98	7.88	2.94	10.6	9.90
FeO	6.98	9.13	7.95	8.38	6.66	7.26	7.25	7.14	7.68	7.68	7.73
MnO	0.40	0.53	0.44	0.51	0.46	0.45	0.55	0.41	0.40	0.55	0.53
MgO	21.7	12.8	15.2	20.1	15.9	20.5	16.7	21.7	17.0	18.4	18.8
CaO	3.87	12.9	10.8	4.48	10.7	4.67	9.62	2.87	8.28	6.18	5.86
Na ₂ O	0.05	0.01	0.05	0.01	0.08	0.05	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06
Сумма	99.96	99.46	99.26	99.97	99.04	100.19	99.73	99.11	99.20	99.30	99.71
Mg#	84.7	71.4	77.3	81.0	81.0	83.4	80.4	84.4	79.8	81.0	81.3
Cr#	6.61	18.7	13.4	11.6	26.1	25.4	5.82	23.0	8.60	32.0	29.7
Хромит-матрица											
TiO ₂	0.28	0.72	0.39	0.13	1.15	0.41	0.56	0.18	0.35		0.44
Al ₂ O ₃	23.7	12.5	6.02	6.64	8.34	6.02	8.8	6.19	34.6		4.98
Cr ₂ O ₃	42.9	47.3	63.3	62.6	54.2	62.1	56.3	62.7	33.7		62.0
FeO	16.9	27.7	17.7	17.2	22.6	17.9	23.0	18.2	14.4		20.5
MnO	0.09	0.20	0.17	0.19	0.26	0.24	0.24	0.15	0.15		0.16
MgO	14.8	10.6	11.7	11.8	11.9	11.7	10.5	11.4	15.8		11.1
NiO	0.10	0.11	0.06	0.10	0.17	0.09	0.02	0.10	0.15		0.05
Сумма	98.77	99.13	99.34	98.66	98.62	98.46	99.42	98.92	99.15		99.23
Mg#	67.1	51.1	58.0	59.2	57.8	58.3	51.6	57.1	68.2		55.4
Cr#	54.8	71.7	87.6	86.4	81.3	87.4	81.1	87.2	39.5		89.3
Cr#*	52.0	62.1	84.4	83.1	73.1	83.0	74.9	83.5	38.9		83.5
им. XXIII партсъезда											
Компонент								Айхал			
	23/33	23/46	23/103а	23/103б	23р/113	23р/127	23р/128	А-1	А-39	А-45	
Гранат-включение											
SiO ₂	42.6	39.3	40.8	41.4	42.0	42.3	40.7	41.4	41.7		40.3
TiO ₂	0.04	0.17	0.17	0.17	0.01	0.35	0.12	<0.01	<0.01		0.13
Al ₂ O ₃	20.7	12.8	16.2	16.3	18.6	22.5	14.5	18.1	20.5		13.9
Cr ₂ O ₃	4.22	12.1	9.71	9.17	7.20	0.30	11.7	7.55	3.48		11.9
FeO	6.88	7.76	7.38	7.42	6.92	8.20	7.89	6.81	7.95		6.41
MnO	0.31	0.39	0.52	0.51	0.44	0.34	0.52	0.40	0.52		0.42
MgO	23.9	10.9	19.6	19.5	22.8	21.4	17.6	23.6	19.7		18.3
CaO	1.23	15.6	5.52	5.31	1.65	3.79	6.79	1.59	5.21		7.48
Na ₂ O	<0.01	0.01	0.05	0.05	0.03	0.09	0.06	0.01	0.02		0.05
Сумма	99.88	99.03	99.95	99.83	99.65	99.27	99.88	99.46	99.08		98.9
Mg#	86.1	71.5	82.6	82.4	85.4	82.3	79.9	86.1	81.5		83.6
Cr#	12.0	38.8	28.7	27.4	20.6	0.89	35.1	21.9	10.2		36.5
Хромит-матрица											
TiO ₂	0.30	0.31		0.10	0.23	1.34	0.31	0.09	0.16		0.37
Al ₂ O ₃	11.6	7.11		6.54	5.66	7.50	4.55	6.53	34.8		5.28
Cr ₂ O ₃	56.0	57.8		63.4	63.2	51.7	62.2	63.1	34.3		63.9
FeO	17.1	23.2		17.1	18.5	27.6	21.0	16.9	13.8		16.9
MnO	0.16	0.23		0.17	0.17	0.24	0.19	0.13	0.18		0.34
MgO	13.7	10.4		12.2	11.2	10.5	10.9	12.5	17.0		11.6
NiO	0.11	0.12		0.08	0.02	0.21	0.04	0.05	0.15		0.09
Сумма	98.97	99.17		99.59	98.98	99.09	99.19	99.3	100.39		98.48
Mg#	65.8	52.1		60.5	56.2	51.2	54.8	61.9	72.4		58.6
Cr#	76.4	84.5		86.7	88.2	82.2	90.2	86.6	39.8		89.0
Cr#*	71.8	77.2		83.2	84.6	70.6	83.8	82.8	38.7		86.1

Таблица 1. Окончание

Компонент	Мир		Пионерская	Эллендейл-4	Прери-Крик		Ньюлэндс	Венесуэла
	Mг-5	Mг-68	Pn-2501	E1-4/86	Pc-361	Pc-364	New-38	V-2/3
Гранат-включение								
SiO ₂	42.0	43.0	41.4	41.0	41.8	41.4	41.1	41.8
TiO ₂	0.12	0.05	0.02	0.18	0.57	0.11	0.59	0.03
Al ₂ O ₃	20.2	21.9	19.2	16.8	18.3	15.8	15.7	19.1
Cr ₂ O ₃	4.36	2.00	4.99	7.33	5.92	9.36	9.09	6.07
FeO	8.20	5.88	8.03	8.71	7.56	6.99	6.66	6.84
MnO	0.48	0.34	0.49	0.54	0.38	0.45	0.41	0.37
MgO	21.9	22.4	19.9	18.9	18.6	20.0	19.1	23.6
CaO	2.02	3.88	4.62	6.43	6.28	4.97	7.41	1.30
Na ₂ O	0.05	0.04	0.03	0.02	0.07	0.03	0.09	0.04
Сумма	99.33	99.49	98.67	99.91	99.48	99.11	100.15	99.15
Mg#	82.6	87.2	81.5	79.5	81.4	83.6	83.6	86.0
Cr#	12.6	5.80	14.8	22.6	17.8	28.4	28.0	17.6
Хромит-матрица								
TiO ₂	1.12	0.24	0.13	1.56	4.47	0.35	2.86	0.13
Al ₂ O ₃	7.76	27.8	6.56	7.90	9.05	6.74	5.82	8.50
Cr ₂ O ₃	57.6	39.0	57.4	48.2	45.8	59.2	56.3	62.3
FeO	20.8	16.5	24.6	30.5	26.8	20.6	20.6	17.2
MnO	0.28	0.21	0.24	0.22	0.24	0.20	0.24	0.17
MgO	10.9	16.3	10.1	11.3	12.4	11.8	12.9	10.8
NiO	0.14	0.17	0.08	0.16	0.24	0.13	0.33	0.08
Сумма	98.60	100.22	99.11	99.84	99.00	99.02	99.05	99.18
Mg#	53.6	71.6	51.0	53.9	55.2	58.6	60.4	53.8
Cr#	83.3	48.5	86.0	80.4	77.3	85.5	86.7	83.1
Cr#*	78.5	45.5	76.6	65.2	66.7	78.6	79.5	82.3

Примечание. Все железо в форме FeO; Mg# = 100 Mg/(Mg + Fe²⁺), для хромитов учитывается только Fe²⁺, полученное после пересчета общего железа в соответствии со стехиометрией состава; Cr# = 100Cr/(Cr + Al); Cr#* = 100Cr/(Cr + Al + Fe³⁺).

каждой выявлено более чем по 20 образцов включений пиропов в хромшпинелидах (см. рис. 1а). Для трубок Мир, Айхал (Якутия), Пионерская (Архангельская провинция), Ньюлэндс и Коффифонтейн (ЮАР), кимберлитовых силлов Гуаньямо (Венесуэла) обнаружено и изучено в каждом случае от 1 до 5 пиропсодержащих образцов. Один образец хромита, содержащий включение пиропов, установлен в лампроитовой трубке Эллендейл-4 (Австралия), а четыре образца выявлены для лампроитов Прери-Крик (США). Кроме включений пиропов, в шпинелидах всех без исключения трубок установлены преобладающие включения Mg-оливина. Редкие включения представлены пироксенами, флогопитом и кальцитом, содержащим примеси Mn, Fe, Mg, Ba и Sr. Предварительные данные по характеристике включений опубликованы в [8].

Сопоставление полученных результатов анализа пиропов (табл. 1), представленных наиболее информативным образом [3, 5], в координатах Cr₂O₃-CaO (рис. 1а) свидетельствует о широких колебаниях их состава и соответствие их всем главным известным парагенезисам ультраосновного (перидотитового) типа (У-типа): гарцбургитовому (H), лерцолитовому (L), верлитовому (W), выделенным для гранатов из концентратов, включений в алмазах и ксенолитов алмазоносных перидотитов [4, 6, 9].

Точки состава пиропов на рис. 1а расположены сравнительно равномерно для всех парагенезисов, с некоторым преобладанием лерцолит-вебстеритового парагенезиса. Результаты систематических исследований пироповых концентратов из тех же трубок свидетельствуют о существенном преобладании пиропов лерцолитового парагенезиса и о

редкости – верлитового [6]. Что касается общих пределов колебания содержаний Cr_2O_3 и CaO в изученных пиропсах, включенных в хромшпинелиды, то они полностью соответствуют составам пиропов из концентратов. Отсутствие особо высокохромистых составов, содержащих более 12% Cr_2O_3 , можно объяснить ограниченностью выборки, включающей только 75 образцов. Следует подчеркнуть, что в образцах, содержащих по два зерна пироба, в трех случаях выявлены значимые различия состава. На рис. 1а эти точки соединены прямыми линиями. Результаты анализа пиропов из двух таких образцов, демонстрирующих четкие различия в содержаниях Cr_2O_3 и CaO , приведены в табл. 1.

Особый интерес представляет обнаружение пиропов с низким содержанием Cr_2O_3 (от 0.3 до 2.0 мас. %), включенных в хромиты, содержащие от 39 до 56.3 мас. % Cr_2O_3 . Несмотря на отсутствие пироксенов и оливина, выявленная ассоциация свидетельствует об ультраосновном типе парагенезиса этих пиропов, предположительно лерцолитовом (см. рис. 1а). Эти данные не подтверждают мнения о необходимости безусловного отнесения всех пиропов из концентрата кимберлитов, содержащих менее 2% Cr_2O_3 , к эклогитовому типу парагенезиса [10]. Дополнительно отметим, что в качестве включений в алмазах зафиксированы, хотя и редко, пиропы, содержащие менее 2% Cr_2O_3 в лерцолитовом парагенезисе с Mg-оливином, энстатитом и диопсидом [4]. Это также противоречит возможности отнесения их к эклогитовому парагенезису [10].

Следует отметить, что, несмотря на исключительную редкость пиропов верлитового парагенезиса как в алмазах, так и в ксенолитах и концентратах кимберлитов [4, 6], для высокоалмазоносных трубок Интернациональная и им. XXIII партсъезда такие пиропы установлены более чем в 30% образцов для каждой из этих трубок. Вероятно, это может свидетельствовать о существенной роли проявления эпизодов глубинного метасоматоза именно для этих трубок. Косвенным подтверждением такого предположения может служить обнаружение значительного количества включений Mg, Fe, Mn-кальцита, содержащих примеси Ba и Sr в хромитах трубки им. XXIII партсъезда [8].

Особый интерес с точки зрения возможной связи с глубиной образования и с алмазоносностью кимберлитов представляют составы пиропов, располагающиеся в нижней части диаграммы (рис. 1а, 1б), относимые к гарцбургитовому парагенезису [5, 6, 9]. Именно эти составы характерны как для графитовых, так и для алмазоносных гарцбургитов [4, 6, 9, 11], уточнение границ между которыми с использованием состава гранатов имеет важное значение для достоверности оценки парагенезисов, относящихся к разным фациям глубинности. Следует подчеркнуть,

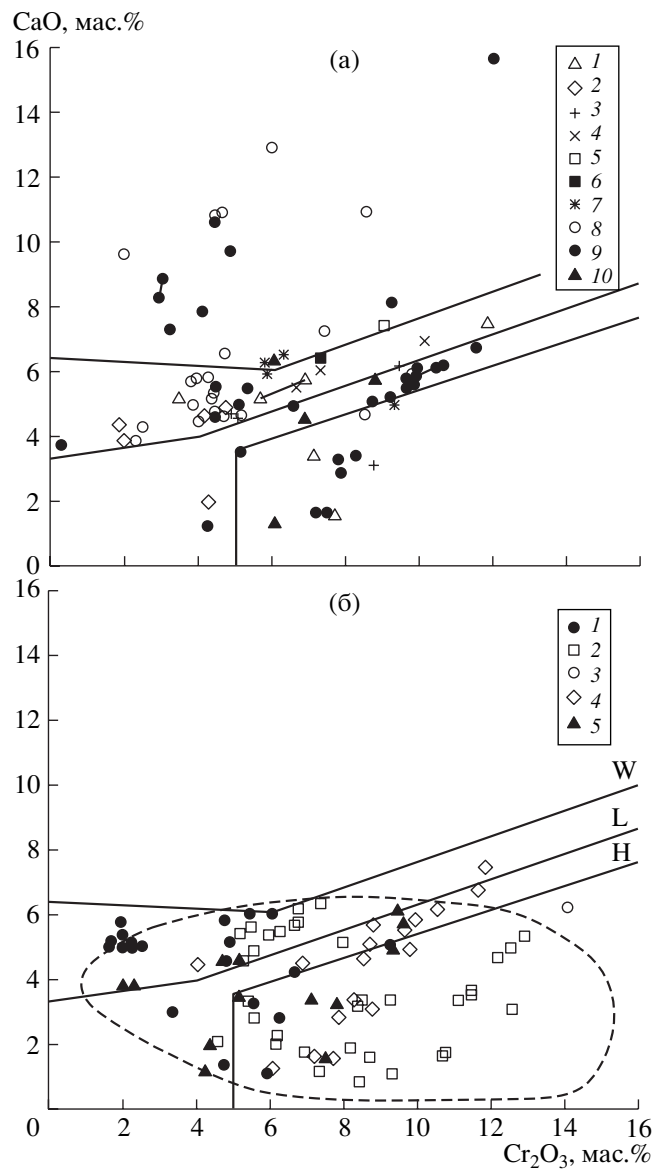


Рис. 1. Соотношение содержания CaO и Cr_2O_3 в пиропсах, включенных в хромшпинелиды из различных кимберлитов и лампроитов, относящихся к разным парагенезисам [4, 6] ультраосновного (перидотитового) типа: гарцбургитовому (H), лерцолитовому (L), верлитовому (W). Соответствующие области ограничены сплошными линиями. Образцы пиропов (а) из трубок: 1 – Айхал, 2 – Мир, 3 – Пионерская, 4 – Кофффонтейн, 5 – Ньюлендс, 6 – Эллендэйл-4, 7 – Прери-Крик, 8 – Интернациональная, 9 – им. XXIII партсъезда, 10 – Гуаньямо. Составы зерен пироба, извлеченных из одного образца хромита, соединены прямой линией. На рис. 1б составы пиропов: 1 – из графитовых перидотитов, 2 – из алмазоносных перидотитов, 3 – из алмазоносного серпентинита трубки Айхал, 4 – из макрокристов хромитов, содержащих более 62% Cr_2O_3 , 5 – из макрокристов хромитов, содержащих < 62% Cr_2O_3 . Штриховая линия ограничивает 98% состава пиропов, включенных в алмазы различных месторождений мира [14, 15]. Источник данных: табл. 1, материалы авторов и [4, 11].

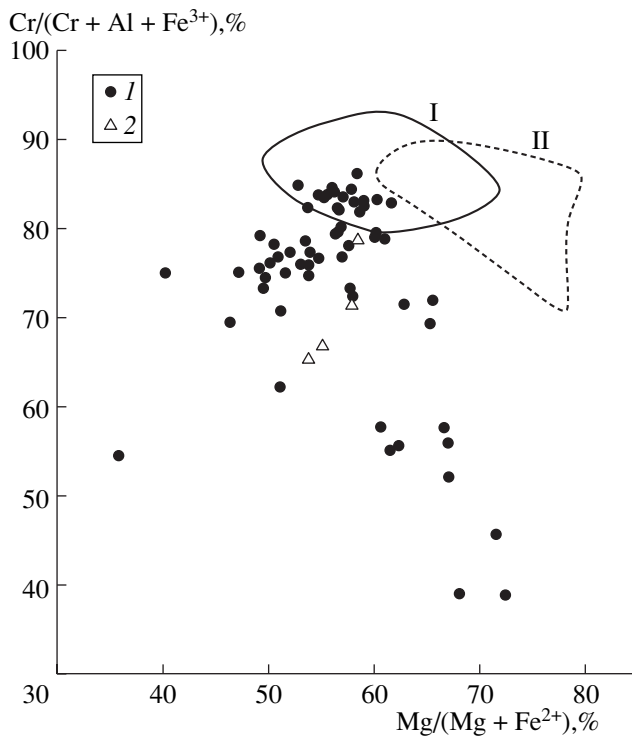


Рис. 2. Соотношение магнезиальности и хромистости шпинелидов (1 – из кимберлитов, 2 – из лампроитов), содержащих включения пирропа. I – область состава хромитов, включенных в алмазы Якутии; II – область состава хромитов из алмазов ЮАР. Источник данных [14].

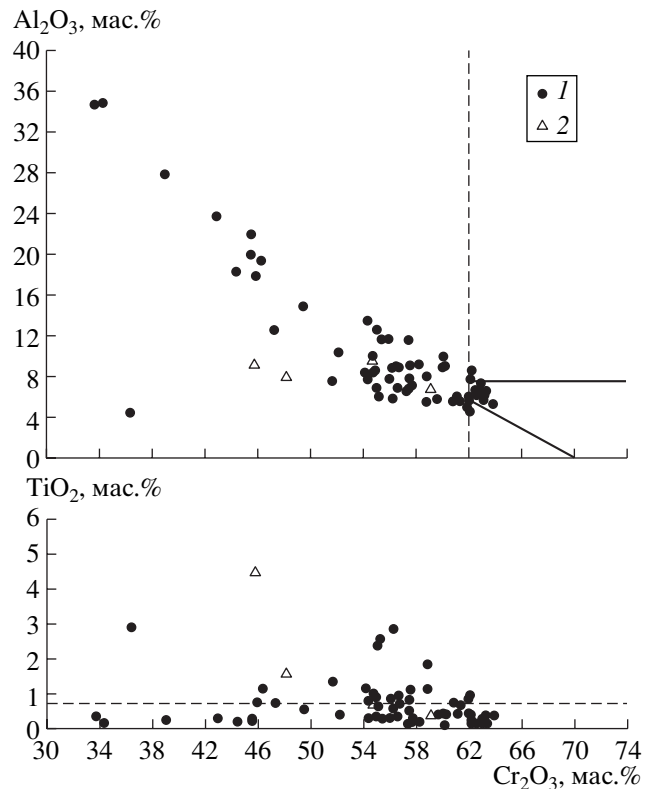


Рис. 3. Соотношение содержания Cr_2O_3 , Al_2O_3 и TiO_2 в хромшпинелидах, содержащих включения пирропа (условные обозначения см. на рис. 2). Сплошным контуром показана область состава хромитов из алмазов, штриховой линией – предельное содержание TiO_2 и минимальное содержание Cr_2O_3 для 90% всех хромитов из алмазов [14].

что для 70% изученных в настоящей работе алмазоносных кимберлитовых тел удалось выявить включения высокохромистых субкальциевых пирропов, относимых к гарцбургитовому парагенезису алмаз-пирроповой фации глубинности [4, 9].

Вмещающие хромшпинелиды представлены широкой серией составов, типичных для кимберлитов [1, 7] как по соотношению магнезиальности и хромистости (рис. 2), так и по соотношению содержаний Cr_2O_3 , Al_2O_3 и TiO_2 (рис. 3). Часть их составов идентична составам хромитов, включенных в алмазы [7]. Несмотря на общее сходство составов пирропсодержащих хромшпинелидов из кимберлитов и лампроитов (см. рис. 2, 3), именно среди лампроитовых образцов трубки Прерикрик выявлен хромшпинелид, наиболее богатый TiO_2 : 4.47% (см. табл. 1).

Применение серии взаимосогласованных экспериментально обоснованных геотермобарометров, основанных на обменных реакциях в системе, моделирующей гарцбургитовый парагенезис [12, 13], позволяет, в частности, использовать хромистость сосуществующих субкальциевого пирропа и хромита для оценки PT -условий их равновесия. Ограни-

чения такого подхода связаны со сложностью состава природных образцов, в особенности хромшпинелидов, для которых только в значительной степени условно можно оценить роль Fe_2O_3 . Значения хромистости шпинелидов без учета Fe^{3+} и с его учетом могут различаться в интервале от 2 до 10% (см. табл. 1). Однако указанные соотношения, а также анализ имеющихся экспериментальных данных и известных минералов гарцбургитового парагенезиса, ассоциирующих с алмазами, позволили оценить нижний предел содержания Cr_2O_3 в пирропах в равновесии с природным алмазом, который приближается к 5 мас. % для субкальциевых пирропов [12, 13]. В этой области, характеризующейся содержанием в пирропах гарцбургитового парагенезиса от 4 до 6% Cr_2O_3 (см. рис. 1а), располагается 13 точек состава, относимых как к графит-пирроповой фации (5 пирропов из графитовых перидотитов, 2 из хромитов, содержащих менее 62% Cr_2O_3), так и к алмаз-пирроповой фации (5 из алмазоносных перидотитов и один пирроп, включенный в высокохромистый хромит). Такое соотношение позволяет подтвердить возможность использования границы 5 мас. % Cr_2O_3 в пирропе, по-

казанной вертикальной линией на рис. 1 для разделения пиропов разных фаций [4, 9]. Отметим, что этот подход справедлив для абсолютного большинства пиропов гарцбургитового парагенезиса, ассоциирующих с алмазами во включениях и алмазоносных перидотитах, и подтвержден выявлением значимой положительной корреляции между содержанием высокохромистых субкальциевых пиропов в концентратах кимберлитов и их алмазоносностью [4–6]. В отдельных же случаях, как отмечено выше, в алмазах отмечены пиропы лерцолитового парагенезиса, содержащие менее 2% Cr₂O₃, что, вероятно, зависит от низкого отношения Cr/Al в отдельных участках мантийного алмазообразующего субстрата [14, 15].

Полученные новые данные еще раз подтверждают правомерность оценки границы области состава субкальциевых пиропов, равновесных с алмазом, с содержанием более 5% Cr₂O₃, ассоциирующих с хромитами, содержащими более 62% Cr₂O₃, в гарцбургитовом парагенезисе, т.е. содержащих не менее 15 мол. % кноррингита [4, 6, 12, 13]. Эти результаты ставят под сомнение упрощенный подход [10], в соответствии с которым к равновесным с алмазом предлагается относить любые субкальциевые пиропы, даже с низким содержанием Cr₂O₃, заведомо относящиеся к графит-пироповой фации, т.е. к графитовым перидотитам [4, 11].

Авторы признательны А.И. Туркину за обсуждение результатов и ценные замечания.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 02–05–64248) и гранта “Ведущие научные школы” (НШ–93.2003.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mitchell R.H.* Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology. N.Y.: Plenum, 1986.
2. *Meyer H.O.A.* // Science. 1968. V. 160. P. 1446–1447.
3. *Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н., Соболев Е.В.* // ДАН. 1969. Т. 189. № 1. С. 162–165.
4. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск: Наука, 1974.
5. *Соболев Н.В.* // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–80.
6. *Sobolev N.V., Lavrent'ev Y.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V.* // Contribs Mineral. and Petrol. 1973. V. 40. P. 39–52.
7. *Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В.* // Геология и геофизика. 1975. № 11. С. 7–24.
8. *Logvinova A.M., Sobolev N.V., Taylor L.A.* // EOS Trans. AGU Fall Meeting Suppl. 2003. V. 84. № 46. P. 1553.
9. *Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Ефимова Э.С.* // Геология и геофизика. 1984. № 12. С. 63–80.
10. *Gurney J.J., Zweistra P.* // J. Geochem. Explor. 1995. V. 53. P. 293–309.
11. *Pearson D.G., Boyd F.R., Haggerty S.E. et al.* // Contribs Mineral. and Petrol. 1994. V. 115. P. 449–466.
12. *Дорошев А.М., Брай Г.П., Гирнис А.В. и др.* // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. С. 523–545.
13. *Girnis A.V., Stachel T., Brey G.P. et al.* In: Proc. VII Intern. Kimberlite Conf. Cape Town, 1999. V. 1. P. 247–254.
14. *Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A. et al.* // Lithos. 2004. In press.
15. *Stachel T., Brey G.P., Harris J.W.* // Contribs Mineral. and Petrol. 2000. V. 140. P. 1–15.