

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.8

*В.К. ГАРАНИН, К.В. ГАРАНИН, Е.Р. ВАСИЛЬЕВА, Е.М. ВЕРИЧЕВ, С.И. КОСТРОВИЦКИЙ,  
Г.П. КУДРЯВЦЕВА, П.А. ПИСАРЕВ*

**МИНЕРАЛОГИЯ МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ АЛМАЗОНОСНОЙ  
КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ИМ. В. ГРИБА  
(Архангельская алмазоносная провинция). Статья 2.  
Гранат-клинопироксен±ильменит±флогопитовые сростки**

Обобщены результаты исследований ксенолитов мантийных и метаморфических пород, в том числе и оригинальных гранат-клинопироксен-ильменит-флогопитовых сростков из высокоалмазоносной кимберлитовой трубки им. В. Гриба. Оценены их термодинамических условий образования, сопоставлен разрез глубинного строения Земли под высокоалмазоносной трубкой им. В. Гриба (Верхотинское поле) с разрезом под трубками месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (Золотицкое поле). Показано, что метасоматически переработанные мантийные породы (гранат-клинопироксен±ильменит±флогопитовые сростки) (990–470 млн. лет) образованы значительно позже алмазоносных перидотит-эклогитовых мантийных пород и представляют собой ильменитовые интрузии в основном блоке мантийных пород существенно ультраосновного состава с линзами пироксенитов и магнезиально-железистых эклогитов.

В трубке им. В. Гриба широко распространены гранат-клинопироксен±ильменитовые±флогопитовые сростки, часто пегматоидного типа (они встречены и в других кимберлитовых телах региона, в которых установлен ильменит). Это касается прежде всего некоторых трубок Кепинского поля, в тяжелой фракции которых широко представлен ильменит (трубки 688, 751, 734 и др.). Несомненно, такие сростки и описанные также в кимберлитах Якутии и Южной Африки [7, 8, 12, 13] имеют глубинное происхождение, хотя генетические аспекты образования сростков до сих пор дискуссионны. Очевидно, выяснение генезиса этих пород представляет важный научный интерес для решения многих проблем кимберлитобразования и познания глубинного строения Земли, а также имеет практическое значение при разработке косвенных минералого-петрографических методов оценки алмазоносности кимберлитовых тел.

Авторами собрана и изучена коллекция ксенолитов, состоящая из 25 оригинальных сростков мег- и макрокристаллов минералов ассоциации гранат-клинопироксен±ильменит±флогопит. Наибольшим распространением пользуются сростания гранатов с клинопироксеном размером 1 см и более, в них отмечен и флогопит в явно подчиненном количестве. Представлены также и клинопирок-

сен-флогопитовые сростки иногда с ильменитом. При этом соотношение между минералами различно. Чаще клинопироксен и гранат образуют сростания в равных долях, при этом оба минерала могут находиться как в центральной, так и в периферийной частях. Реже встречаются сростания, в которых доминирует клинопироксен, а гранат находится в виде мелких включений. Такие взаимоотношения рассматриваемых минералов, вероятно, свидетельствуют о почти одновременном их формировании. Гранаты из сростков различно окрашены: красные, красно-оранжевые, коричневые и бурые, что свидетельствует о колебаниях состава. Ильменит обнаружен в виде включений в гранате размером от 20 до 400 мкм. Включения округлые, округло-овальные, тонкопластинчатые и угловатые с резорбированными краями.

Электронно-зондовые анализы всех минералов из сростков и данные по составу минералов из тяжелой фракции [3] и ксенолитов перидотитов, пироксенитов и эклогитов дали возможность получить объективную картину спектра составов минералов и генезиса сростков.

В табл. 1 представлены результаты изучения состава минералов из сростков согласно химико-генетическим группам (ХГК) гранатов [8], поскольку гранат — основной минерал сростков.

Таблица 1

## Электронно-зондовые анализы минералов из сростков в трубке им. В.Гриба (мас.%)

ХГГ гранатов	Номер	Ми-нерал	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	Сум-ма
Алмазоносные равномернoзернистые лерцолиты с высокохромистым гранатом	с-1	Grт	40,72	0,32	17,06	6,61	9,44	0,52	19,21	5,74	—	—	—	99,62
		Срх	53,36	0,17	1,77	2,22	2,71	0,25	16,51	19,14	2,09	0,00	—	98,22
		Phl	42,10	0,54	11,55	0,67	3,34	0,06	25,75	0,03	0,19	10,02	0,25	94,50
		Phl	40,29	0,48	11,13	0,66	3,59	0,00	25,85	0,02	0,23	9,90	0,37	92,52
Алмазоносные равномернoзернистые лерцолиты со среднехромистым гранатом	с-3	Grт	40,40	0,33	20,46	3,63	7,77	0,35	20,98	4,61	—	—	—	98,53
		Grт	40,47	0,29	20,70	2,06	7,73	0,40	21,79	4,09	—	—	—	97,53
		Grт	39,82	0,43	19,35	3,99	8,75	0,32	20,56	4,81	—	—	—	98,03
		Phl	41,57	0,67	11,85	0,62	3,56	0,02	25,11	0,02	0,16	9,96	0,62	94,16
		Phl	38,74	0,72	11,19	0,38	3,68	0,03	25,80	0,01	0,13	10,19	0,50	91,37
	Phl	40,47	0,73	11,61	0,49	3,31	0,00	25,99	0,02	0,15	10,25	0,44	93,46	
	14-2	Grт	41,98	0,09	19,73	5,09	7,07	0,33	20,46	4,76	0,08	—	—	99,59
		Срх	54,91	0,13	2,81	2,73	1,55	0,08	14,77	19,13	2,78	—	—	98,89
	13-2	Grт	41,16	0,13	20,43	3,75	8,21	0,41	19,79	5,11	0,02	—	—	99,01
		Срх	56,05	0,05	1,91	1,29	1,72	0,10	16,27	21,05	1,62	—	—	100,06
	13-7	Grт	40,97	0,03	20,47	3,82	7,77	0,47	20,37	4,98	0,04	—	—	98,92
		Срх	55,31	0,14	2,62	2,08	1,52	0,02	15,53	19,68	2,32	—	—	99,22
	13-8	Grт	41,09	0,24	19,94	4,23	7,51	0,40	20,58	4,55	0,01	—	—	98,55
		Срх	54,56	0,14	2,64	2,89	1,45	0,00	15,27	19,46	2,59	—	—	99,00
Алмазоносные равномернoзернистые лерцолиты с низко- и среднехромистым гранатом	12-7	Grт	42,78	0,24	20,79	3,82	7,61	0,31	20,32	4,63	0,06	—	—	100,56
		Срх	55,22	0,14	2,53	2,46	1,76	0,03	14,77	19,66	2,60	—	—	99,17
	12-9	Grт	42,18	0,32	20,91	2,90	6,80	0,29	20,99	4,52	0,09	—	—	99,00
		Срх	56,02	0,11	2,08	1,01	2,58	0,07	16,63	19,83	1,85	—	—	100,18
	12-10	Grт	42,86	0,23	21,89	2,17	7,42	0,32	21,16	3,95	0,16	—	—	100,16
		Срх	55,50	0,11	2,01	0,94	2,48	0,08	16,36	19,77	1,89	—	—	99,14
	12-12	Grт	41,81	0,17	21,31	2,17	7,91	0,33	21,43	4,36	0,07	—	—	99,56
		Срх	55,45	0,15	2,05	1,25	2,43	0,07	16,63	19,62	1,95	—	—	99,60
	13-4	Grт	41,86	0,25	21,46	2,33	7,41	0,36	21,09	4,35	0,01	—	—	99,12
		Срх	55,42	0,08	2,06	1,12	2,25	0,08	16,87	19,64	1,83	—	—	99,35
	13-5	Grт	41,46	0,13	21,57	2,86	8,19	0,35	21,81	4,47	0,05	—	—	100,89
		Срх	55,25	0,11	2,06	1,00	2,26	0,12	16,63	19,74	1,94	—	—	99,11
	13-6	Grт	41,71	0,21	20,82	3,26	7,20	0,43	21,05	4,55	0,08	—	—	99,31
		Срх	55,15	0,29	2,93	2,57	1,33	0,08	15,07	19,12	2,81	—	—	99,35
Слабоалмазоносные равномернoзернистые, часто катаклизированные ильменитовые лерцолиты с низкохромистым титанистым гранатом	12-6	Grт	41,93	1,01	19,92	3,11	9,02	0,34	19,70	4,85	0,18	—	—	100,06
		Срх	55,41	0,50	1,88	0,80	3,47	0,14	16,20	18,76	2,02	—	—	99,18
	1-1	Grт	40,91	0,91	19,32	2,89	9,49	0,33	19,89	4,60	0,00	—	—	98,34
		Ilm	0,35	54,61	0,61	2,81	28,07	0,25	13,21	0,10	—	—	—	100,01
		Ilm	0,38	54,83	0,75	2,87	28,42	0,32	12,40	0,00	—	—	—	99,97
	1-9	Ilm	0,32	54,71	0,66	2,64	28,50	0,25	11,92	0,00	—	—	—	99,00
		Grт	42,14	0,76	20,19	2,76	9,70	0,31	18,54	4,79	0,00	—	—	99,19
		Ilm	0,44	55,64	0,65	2,03	27,78	0,48	12,83	0,00	—	—	—	99,85
		Ilm	0,47	56,25	0,91	2,41	27,80	0,22	11,83	0,00	—	—	—	99,89
		7-8	Grт	42,55	0,14	21,65	2,08	9,85	0,46	18,80	4,47	0,00	—	—
	Срх		54,45	0,21	3,47	1,51	1,97	0,06	14,66	20,75	2,67	—	—	99,75
	12-3	Grт	42,72	0,19	21,38	2,29	8,32	0,36	19,94	4,28	0,05	—	—	99,53
		Срх	55,14	0,13	2,34	1,05	2,50	0,06	15,23	19,88	2,01	—	—	98,34
	13-9	Grт	40,97	0,03	21,69	2,53	7,33	0,38	21,66	4,33	0,02	—	—	98,94
Срх		54,83	0,17	3,04	2,13	1,44	0,09	15,52	19,10	2,57	—	—	98,89	
13-2	Grт	41,16	0,13	20,43	3,70	8,21	0,41	19,80	5,11	0,02	—	—	98,97	
	Срх	55,58	0,02	1,99	1,74	1,58	0,05	16,27	20,98	1,90	—	—	100,11	
13-5	Grт	41,46	0,31	21,57	2,86	8,19	0,35	21,82	4,46	0,06	—	—	101,08	
	Срх	55,25	0,11	2,06	1,00	2,03	0,12	16,63	19,74	1,94	—	—	98,88	
Алмазоносные магнетитово-железистые эклогиты	14—1	Grт	42,42	0,35	22,18	0,72	10,63	0,36	18,69	4,60	0,09	—	—	100,04
		Срх	55,24	0,23	2,78	0,55	3,33	0,09	15,10	19,12	2,16	—	—	98,60
Алмазоносные магнетитово-рутиловые эклогиты	13—3	Grт	41,68	0,11	22,78	1,03	7,76	0,33	21,57	4,27	0,09	—	—	99,62
		Срх	56,07	0,27	2,48	0,66	1,50	0,10	16,24	21,00	1,76	—	—	100,08
	14—3	Grт	43,28	0,16	23,18	0,64	7,11	0,31	21,41	4,11	0,07	—	—	100,27
		Срх	55,13	0,16	2,47	0,43	1,57	0,00	16,33	21,67	1,72	—	—	99,48
	8—11	Grт	41,77	0,30	21,47	1,32	10,57	0,29	19,16	4,62	0,00	—	—	99,50
		Срх	54,41	0,25	2,87	0,92	1,80	0,16	15,66	21,35	1,30	—	—	98,72

Примечание. Электронно-зондовые анализы выполнены на кафедре минералогии геологического факультета МГУ, аналитики В.К. Гаранин (2002 г.), Н.Н. Кононова (2003 г.), прочерк — нет данных.

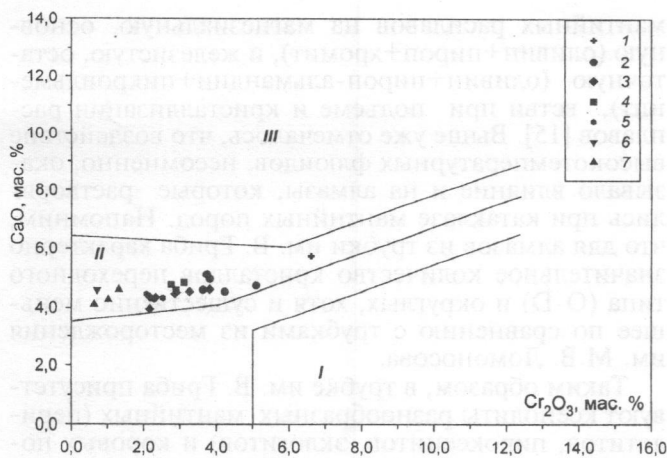


Рис. 1. Диаграмма составов гранатов в ХГГ из сростков кимберлитовой трубки им. В. Гриба в координатах  $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ , фигуративными точками обозначены номера ХГГ: 1—3, 2—4, 3—5, 4—8, 5—9, 6—20, 7—24. Поля составов гранатов нанесены по [19]: I — алмазонасные дунит-гарцбургиты, II — равномернозернистые лерцолиты, III — верлиты

Гранат из сростков с флогопитом и клинопироксеном соответствует минералу алмазонасных равномернозернистых лерцолитов с высокими и средними содержаниями хрома. Среди гранат-клинопироксеновых сростков установлен как ультраосновной, так и эклогитовый парагенезис. К первому отнесены гранаты из сростков, соответствующие по составу алмазонасным равномернозернистым лерцолитам с разными содержаниями  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (от 6,61 до 2,17 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), низкохромистым титанистым гранатам слабоалмазонасных (часто катаклазированных) ильменитовых лерцолитов (отметим, что к этому парагенезису отнесены гранаты с включениями ильменита), низкохромистым гранатам в лерцолитах и вебстеритах (рис. 1).

К эклогитовому парагенезису принадлежат находки четырех сростков, причем гранат одного из них соответствует минералу алмазонасных магнезиально-железистых эклогитов, а три отвечают алмазонасным магнезиальным ильменит-рутиловым эклогитам.

Гранаты в основном алмадин-пиропового состава, характеризуются высокой магнезиальностью (18,5—21,9 мас. %  $\text{MgO}$ ), широкими колебаниями содержания титана (0,1—1,0 мас. %  $\text{TiO}_2$ ), средними и низкими концентрациями хрома (0,6—6,6 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), средними кальция (4,0—5,7 мас. %  $\text{CaO}$ ) и повышенными железа (6,8—10,6 мас. %  $\text{FeO}$ ). Большая часть гранатов из сростков отличается от такового из других ультраосновных пород повышенными количествами титана (0,8—1,0 мас. %  $\text{TiO}_2$ ) и железа (8,4—8,8 мас. %  $\text{FeO}$ ).

Согласно ХГК, клинопироксен в сростках представлен тремя группами: 1) из слабоалмазонасных равномернозернистых лерцолитов, гранат-клинопироксен-хромшпинелевых сростков, 2) слабоалмазонасных равномернозернистых  $\pm$  ильменитовых лерцолитов, вебстеритов и пироксенитов, 3) слабоалмазонасных вебстеритов, пироксенитов, ильменитовых перидотитов. Клинопироксен в сростках — хромдиопсид и юриитовый диопсид с широкими вариациями содержания

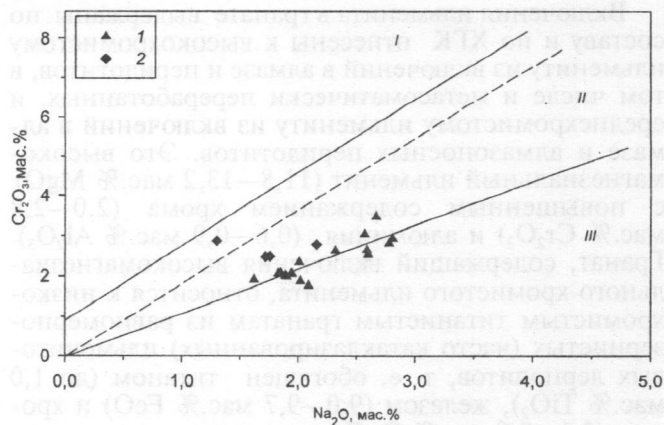


Рис. 2. Диаграмма составов клинопироксенов в ХГГ из сростков кимберлитовой трубки им. В. Гриба в координатах  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ . 1, 2 — клинопироксены: 1 — из сростков ультраосновных пород, 2 — из сростков эклогитов; области составов клинопироксенов из включений: I — шпинель-пироксеновой фации и шпинель-пироповой субфации; II — гроспидитовой субфации; III — коэзитовой субфации [17]

хрома (0,4—2,9 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), алюминия (1,9—3,5 мас. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), натрия (1,3—2,8 мас. %  $\text{Na}_2\text{O}$ ) (рис. 2). Пироксены этих трех групп отличаются высокими значениями отношений  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$  (89,0—95,1) и  $\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$  (45,5—50,5).

На диаграммах (рис. 3) нанесены фигуративные точки парагенетических гранатов и клинопироксенов из ксенолитов и сростков. Провести границу между областями перидотитов и эклогитов пока невозможно из-за недостатка анализов.

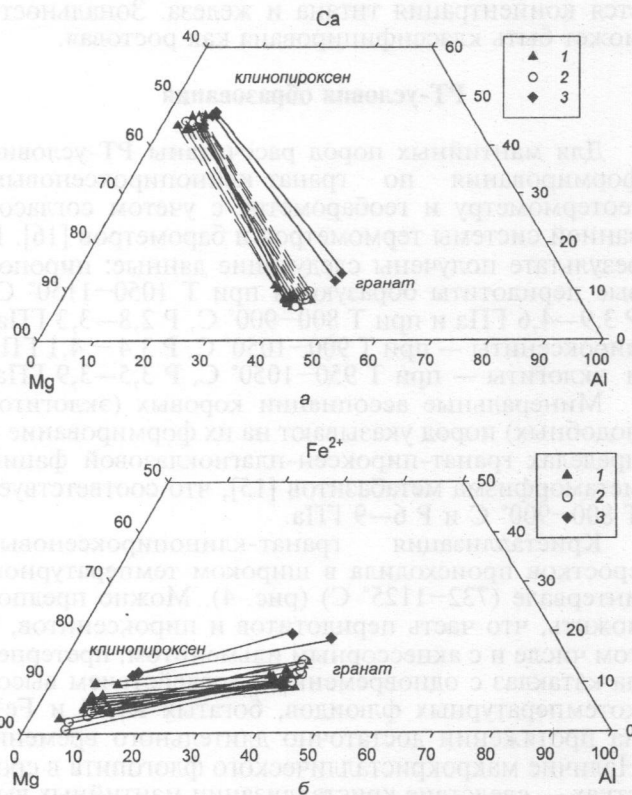


Рис. 3. Диаграммы минеральных парагенезисов гранат-клинопироксен из ксенолитов различных глубинных пород и сростков из трубки им. В. Гриба в координатах  $\text{Mg}-\text{Ca}-\text{Al}$  (а) и  $\text{Mg}-\text{Fe}^{2+}-\text{Al}$  (б): 1 — сростки минералов, 2 — ксенолиты гранатовых гипербазитов, 3 — ксенолиты эклогитов

Включения ильменита в гранате выдержаны по составу и по ХГК отнесены к высокохромистому ильмениту из включений в алмазе и перидотитов, в том числе и метасоматически переработанных, и среднехромистому ильмениту из включений в алмазе и алмазоносных перидотитов. Это высокомагнезиальный ильменит (11,8–13,2 мас.% MgO) с повышенным содержанием хрома (2,0–2,8 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и алюминия (0,6–0,9 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Гранат, содержащий включения высокомагнезиального хромистого ильменита, относится к низкохромистым титанистым гранатам из равномерно-зернистых (часто катаклазированных) ильменитовых лерцолитов, т. е. обогащен титаном (до 1,0 мас.% TiO<sub>2</sub>), железом (9,0–9,7 мас.% FeO) и хромом (2,1–2,9 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), что, по-видимому, свидетельствует об образовании минералов в сходных условиях.

Флогопиту из сростков свойственно постоянное содержание магния (25,0–26,0 мас.% MgO) и повышенные количества титана (0,5–0,7 мас.% TiO<sub>2</sub>) и хрома (0,4–0,7 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), типичные для флогопита из мантийных ксенолитов [1].

Одни сростки по составам граната и клинопироксена отвечают лерцолитам и магнезиальным пироксенитам, другие, с Cr-Ti-пиропом, — крупно- и гигантозернистым ильменитовым перидотитам, так как в таком пиропе обнаружены включения высокомагнезиального хромистого ильменита, весьма близкого по составу к таковому из желваков. Интересно описание зональных Cr-Ti-пиропов (до 5 см) [1], в которых к краям зерен уменьшается содержание хрома и кальция и увеличивается концентрация титана и железа. Зональность может быть классифицирована как ростовая.

#### PT-условия образования

Для мантийных пород рассчитаны PT-условия формирования по гранат-клинопироксеновым геотермометру и геобарометру с учетом согласованной системы термометров и барометров [16]. В результате получены следующие данные: пироповые перидотиты образуются при T 1050–1150° C, P 3,9–4,6 ГПа и при T 800–900° C, P 2,8–3,3 ГПа, пироксениты — при T 900–1050° C, P 3,4–4,1 ГПа и эклогиты — при T 950–1050° C, P 3,5–3,9 ГПа.

Минеральные ассоциации коровых (эклогитоподобных) пород указывают на их формирование в пределах гранат-пироксен-плаггиоклазовой фации метаморфизма метабазитов [15], что соответствует T 800–900° C и P 6–9 ГПа.

Кристаллизация гранат-клинопироксеновых сростков происходила в широком температурном интервале (732–1125° C) (рис. 4). Можно предположить, что часть перидотитов и пироксенитов, в том числе и с аксессуарным ильменитом, претерпела катаклиз с одновременным воздействием высокотемпературных флюидов, богатых K, Ti и Fe<sup>3+</sup> на протяжении достаточно длительного времени. Наличие макрокристаллического флогопита в сростках — следствие кристаллизации мантийных выплавок, насыщенных летучими компонентами (преимущественно CO<sub>2</sub>), K, Ti, Fe<sup>3+</sup>, (мантийный метасоматоз). Это так называемая пегматоидная стадия в сложной эволюции и дифференциации

мантийных расплавов на магнезиальную, основную (оливин+пироп+хромит), и железистую, остаточную (оливин+пироп-альмандин+пикроильменит), ветви при подъеме и кристаллизации расплавов [15]. Выше уже отмечалось, что воздействие высокотемпературных флюидов, несомненно, оказывало влияние и на алмазы, которые растворялись при катаклазе мантийных пород. Напомним, что для алмазов из трубки им. В. Гриба характерно значительное количество кристаллов переходного типа (O-D) и округлых, хотя и существенно меньшее по сравнению с трубками из месторождения им. М.В. Ломоносова.

Таким образом, в трубке им. В. Гриба присутствуют ксенолиты разнообразных мантийных (перидотитов, пироксенитов, эклогитов) и коровых пород. При этом изученные мантийные породы несут признаки мантийного метасоматоза, который подтверждается наличием тонких келифитовых кайм в гранатах и измененных краевых зон в зернах клинопироксена и флогопита, а также присутствием широкого спектра метасоматитов гранат-пироксен-ильменит-флогопитовой ассоциации. При изучении банка данных по составу граната (638 анализов) отмечено, что гранатов эклогитового парагенезиса (магнезиально-железистый тип) не более 10% от выборки из пород трубки. Следовательно, в разрезе мантийных пород под трубкой преобладают ультраосновные породы (преимущественно лерцолитовые), в том числе и ильменитовые.

При этом как по нашим данным, так и по данным С.М. Саблукова [17,18], в трубке наблюдаются породы от алмаз-пироповой до шпинелевой фации глубинности.

Для метасоматизированных гранат-пироксен-ильменит-флогопитовых ксенолитов из трубки им. В. Гриба определен возраст по флогопиту ≈ 990 млн. лет [5]. Новые датировки абсолютного возраста по флогопиту K-Ar методом, выполненные для макро- и мегакристаллов флогопита в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН, дали значения для двух генераций данного минерала 670±10 и 540±15 млн. лет. Это значительно меньше таковых для возраста алмаза

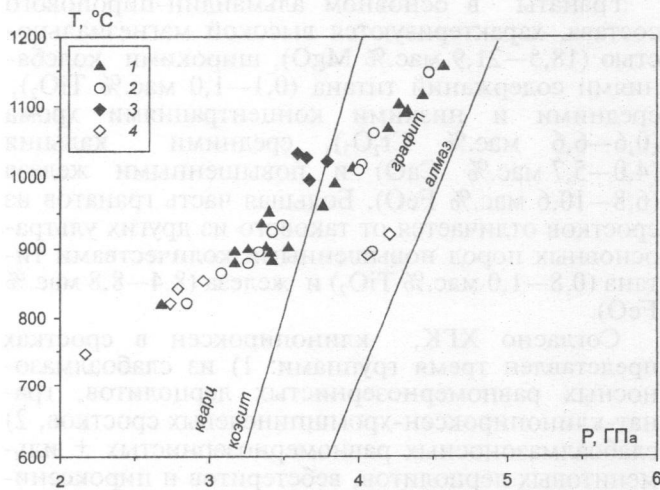


Рис. 4. Условия образования мантийных включений из трубки им. В. Гриба: 1 — сростки минералов, 2 — ксенолиты гранатовых перидотитов, 3 — ксенолиты эклогитов, 4 — ксенолиты гранатопироксенитов

( $\approx 3,0$ — $3,5$  млрд. лет по [8]) и больше возраста образования трубки ( $\approx 350$ — $360$  млн. лет), что свидетельствует о многоэтапном образовании мантийных пород и кимберлитов в алмазоносной трубке им. В.Гриба.

Таким образом, процесс формирования мантийных пород был дискретным, обусловлен этапом кристаллизации пород алмазной ассоциации (ранняя), перидотитов, пироксенитов и эклогитов (средняя) и пород пегматоидного типа (ансамбль мегакристаллов и ксенолитов метасоматизированных перидотитов и пироксенитов) (поздняя стадия).

Алмазные месторождения (трубка им. В. Гриба и трубки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова) различаются по петрохимическим и минералогическим характеристикам, а также и по уровню алмазоносности [8, 10]. В то же время по содержанию редких и редкоземельных элементов, соотношению изотопов Nd и Sr кимберлитовые породы этих тел сходны между собой и отличаются от кимберлитов I и II групп из Южной Африки. Сходство изотопно-геохимических параметров и минералого-петрохимические отличия кимберлитов месторождений алмазов им. В. Гриба и им. М.В. Ломоносова может быть объяснено образованием в близкой геолого-тектонической и изотопно-геохимической обстановках в процессе взаимодействия протокимберлитовых расплавов с различными участками гетерогенной и в разной степени метасоматически переработанной субконтинентальной литосферы. Отсутствие ксенолитов глиноземистых и кальциевых эклогитов указывает на слабое проявление субдукционных процессов при формировании кратона под Архангельской алмазоносной провинцией (ААП). Все отмеченные особенности типичны для разреза верхней мантии под ААП.

### Заключение

Несмотря на разнообразие состава, месторождение им. М.В. Ломоносова (Золотицкое), трубка им. В.Гриба (Верхотинское поле) и другие тела ААП образуют единую магматическую совокуп-

ность. Все тела сближены в пространстве, обладают схожими размерами и морфологией (трубки с кратерами, силлы, дайки), структурно-текстурными чертами, а также по возрасту — поздний девон — характеризуются закономерным распределением геологических черт и тектонической позицией [1, 5].

При этом С.М. Саблуков с соавторами [17, 18] отмечает линейный тип симметрии в районе для когерентных элементов, обусловленный тенденцией уменьшения степени ультраосновности вулканических проявлений с запада на восток от наиболее магнезиальных кимберлитов через кимберлиты Fe-Ti серии, мелилититы к типичным базальтам. В этом направлении увеличивается содержание  $Al_2O_3$  и уменьшаются концентрация Ni, магнезиальность пород, количество глубинного материала и общая алмазоносность. До некоторой степени такой тип зональности и связанное с ним закономерное снижение алмазоносности диатрем [2, 4, 5] «нарушают» высокомагнезиальные породы трубки им. В. Гриба, представляющие собой наиболее магнезиальные разности кимберлитов на территории ААП [6] несмотря на присутствие микрокристаллического ильменита и ксенолитов ильменитовых гипербазитов. Петрохимические особенности кимберлитов трубки им. В. Гриба отличаются от таковых кимберлитовых пород Fe-Ti-серии в Кепинском поле [10, 11].

На основе геохимической зональности распределения минералов тяжелой фракции и набора мантийных ксенолитов можно сделать вывод о существенно магнезиальном составе мантии в районе расположения трубки им. В. Гриба. Значительное количество ксенолитов ильменитовых пород указывает на существование в мантии ильменитовых интрузий, приуроченных к мантийному диапиру, образование которых связано с мантийными выплавками, богатыми железом и титаном.

Во всех телах ААП присутствует большое число мантийных ксенолитов, представленных гранатовыми перидотитами (в основном лерцолитами) и дунитами с подчиненным количеством гранатовых пироксенитов, что свидетельствует о широкой распространенности одноименных пород в мантии

Таблица 2

Оценка P-T-параметров формирования мантийных пород Архангельской алмазоносной провинции

Мантийный блок Золотицкого поля			Мантийный блок трубки им. В.Гриба		
P, ГПа	T, °C	тип породы	P, ГПа	T, °C	тип породы
—	—	Метаморфические породы кристаллического фундамента (эклогитоподобные породы)	0,6—0,9	800—900	Метаморфические породы кристаллического фундамента (эклогитоподобные породы)
0,7—3,4	800—880	Интенсивно метасоматизированные шпинель-пироповые лерцолиты (глиммериты, флогопитовые оливиниты)	1,0—3,0	750—850	Метасоматизированные шпинель-пироповые перидотиты (глиммериты, гранат-флогопитовые перидотиты)
2,5—3,4	750—890	Равномернозернистые шпинель-пироповые лерцолиты	2,8—3,3	800—900	Равномернозернистые шпинель-пироповые
2,3—5,0	700—1070	Гранатовые пироксениты и вебстериты	3,4—4,1	900—1050	Гранатовые пироксениты, вебстериты, клинопироксениты
3,6—4,1	900—1030	Магнезиально-железистые эклогиты	3,5—3,9	1000—1050	Магнезиально-железистые эклогиты
			3,9—4,6	1050—1150	Гранат-ильменитовые перидотиты
4,5—5,0	1080—1300	Алмазоносные дуниты и гарцбургиты	4,4—4,9	1050—1320	Алмазоносные дуниты и гарцбургиты

Примечание. Для Золотицкого поля использовались данные из [1, 17]; прочерк — нет данных.

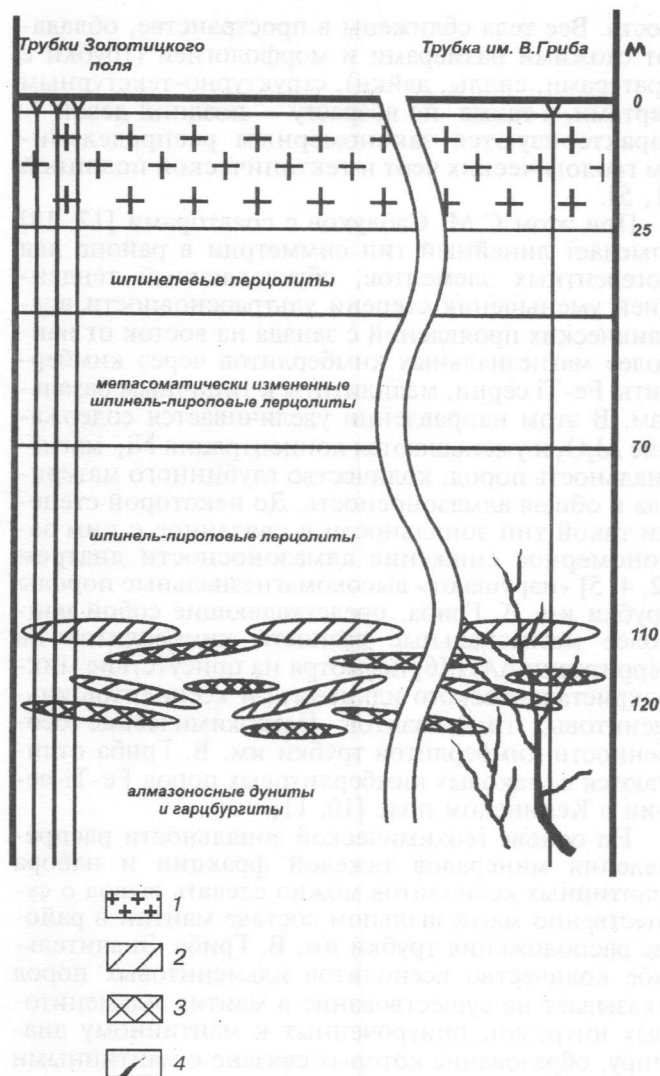


Рис. 5. Схематический разрез строения верхней мантии Архангельской алмазоносной провинции: 1 — породы фундамента, 2 — пироксениты, 3 — эклогиты, 4 — гранат-ильменитовые перидотиты

провинции. Об этом также свидетельствует высокая концентрация минералов-спутников, относящихся к лерцолитовому парагенезису.

Эклогитовый «вклад» в состав мантийного блока ААП не велик, что подтверждают немно-

гочисленные находки ксенолитов соответствующего состава в породах трубок и других тел провинции.

На основе данных о Р и Т образования ксенолитов, сростков минералов и изучения минеральных парагенезисов минералов тяжелой фракции трубок месторождения им. М.В. Ломоносова Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба можно построить следующий разрез верхней мантии ААП (табл. 2, рис. 5). В верхнемантийном блоке распространены дуниты, гранатые и гранат-шпинелевые перидотиты. В мощной толще перидотитов встречаются обособления (прослои или линзы) гранатых пироксенитов и магнезиально-железистых эклогитов, которые по РТ-параметрам относятся к верхним частям этой толщи, т. е. глубинам 100—125 км. Необходимо еще раз указать на существование во всей этой матрице пород интрузий ильменит-гранатых перидотитов, в том числе и метасоматически измененных, которые скорее всего имеют жильное строение и распространены больше на глубину, чем по латерали. В пользу такого предположения свидетельствуют факты, что трубки, соседствующие с трубкой им. В. Гриба, относятся к другим типам — Mg-Al- и Fe-Ti-кимберлитам.

Следует выделить зону мантийного метасоматоза (водно-щелочного), относящуюся к самым верхним горизонтам верхней мантии, выраженного в амфиболитизации и флогопитизации пород. Для глубинных включений трубки им. В. Гриба нетипично присутствие амфиболитовых метасоматитов, но характерны клинопироксен-флогопитовые метасоматиты. Этому участку присущ процесс водно-известково-щелочного метасоматоза [17]. Отсутствие привноса высокоактивного натрового компонента в кимберлитовый расплав способствовало сохранению большей части кристаллов алмазов октаэдрического габитуса. С этим фактом связано то, что алмазоносность кимберлитов трубки им. В. Гриба в среднем в 1,5 раза выше, чем пород трубок месторождения им. М.В. Ломоносова. Необходимо детальное комплексное изучение флогопита из глубинных пород трубки им. В. Гриба, представленного несколькими генерациями, которые кристаллизовались в верхней мантии дискретно. При этом может быть получена важная информация для познания процессов мантийного метасоматоза и его влияния на алмазы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / Под ред. О.А. Богатикова М.: Изд-во МГУ, 1999. 521 с.
2. Богатиков О.А., Кононова В.А., Первов В.А., Журавлев Д.З. Источники, геодинамическая обстановка образования и перспективы алмазоносности кимберлитов северной окраины Русской плиты (Sr-Nd изотопия и ISP-MS геохимия) // Петрология. 2001. Т. 9. № 3. С. 227—240.
3. Васильева Е.Р., Веричев Е.М., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Писарев П.А. Особенности состава важнейших минералов-индикаторов тяжелой фракции из месторождения алмазов им. В. Гриба (Архангельская алмазоносная провинция) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2003. № 3. С. 33—41.
4. Веричев Е.М., Гаранин В.К., Гриб В.П. и др. Геологическое строение и петрологические особенности кимберлитов Архангельской провинции // Изв. вузов. Геология и разведка. 1991. № 4. С. 88—94.
5. Веричев Е.М., Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Журавлев Д.З. Новый тип алмазоносных кимберлитов Зимнего берега (Архангельская алмазоносная провинция) // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 2. С. 226—229.
6. Веричев Е.М., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. Геология, состав, условия образования и методика разведки месторождения алмазов — кимберлитовой трубки им. В. Гриба (Архангельская алмазоносная провинция) // Геология рудных месторожд. 2003. Т. 45. № 5. С. 387—414.
7. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 239 с.

8. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунина А.С., Михайличенко О.А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: Изд-во МГУ, 1991. 240 с.
9. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В. и др. Два типа алмазоносных кимберлитов Архангельской провинции // Изв. вузов. Геология и разведка. 2001. № 4. С. 36—50.
10. Гаранин К.В. Щелочные ультраосновные магматиты Зимнего Берега: их потенциальная алмазоносность и перспективы промышленного освоения. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 2003. 26 с.
11. Головин Н.Н. Геологическое строение, минеральный состав и условия образования щелочно-ультраосновных пород Кепинской площади: Автореф. дис. ... канд. геол. мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 2003. 28 с.
12. Джейкс А., Луис Дж. Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. М.: Мир, 1989. 430 с.
13. Дюсон Д. Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 1983. 301 с.
14. Кротков В.В., Кудрявцева Г.П., Богатилов О.А. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС, 2001. 310 с.
15. Маркушев А.А. Минеральные ассоциации алмаза и проблема образования алмазоносных магм // Очерки физико-химической петрологии. М., 1985. С.5—53.
16. Никитина Л.П. Согласованная система термометров и барометров для основных и ультраосновных пород и реконструкция режимов в мантии по ксенолитам в кимберлитах // Зап. ВМО. 1993. Ч.СХХII. № 5. С. 6—19.
17. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Шавырина М.В. Мантийные ксенолиты из кимберлитовых месторождений округлых алмазов Зимнебережного района, Архангельская алмазоносная провинция // Петрология. 2000. Т. 8. № 5. С. 518—548.
18. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Веричев Е.М. Типы мантийного субстрата Зимнебережного района в связи с формированием кимберлитов с округлыми и плоскогранными алмазами (Архангельская алмазоносная провинция) // Глубинный метасоматоз и проблемы плумов. Мат. межд. сов. Иркутск—Владивосток., 2002. С. 134—150.
19. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. М.: Наука, 1974. 263 с.

Московский государственный университет  
Рецензент — А.С. Марфунин

Журнал «Известия вузов. Геология и разведка» публикует рекламные объявления. В качестве рекламодателей могут выступать предприятия, организации, фирмы, акционерные общества и отдельные граждане, рекламирующие печатные издания, различные изделия, разработки, технологии, имеющие отношение к геологии, разведке и горному делу.

Публикация рекламных объявлений платная. Стоимость рекламы устанавливается по договоренности. По желанию заказчика реклама может публиковаться несколько раз.

#### Контактные телефоны

Б.М. Ребрик	433-62-66 доб. 1149
О.С. Брюховецкий	433-64-55 т/ф