

Исследование парагенетических особенностей состава клинопироксенов из кимберлитов (на примере трубки Чукукская, Якутия)

С помощью специализированной программы «MineralogicalAnalyse» изучен химический состав клинопироксенов из кимберлитов трубки Чукукская. Программа специально создана для определения парагенетической специализации кимберлитовых минералов на основе их состава и способна распознавать среди клинопироксенов 31 парагенезис. Детально описаны особенности состава клинопироксенов определяемых парагенезисов и их взаимоотношения. Приведённые данные на сегодня наиболее полно характеризуют парагенетическое разнообразие клинопироксенов из кимберлитов и связанных с ними россыпей. По результатам исследований в кимберлитах тр. Чукукская преобладают клинопироксены слабоалмазоносных парагенезисов, что согласуется со слабой алмазоносностью данного тела. Наиболее распространены разновидности из слабоалмазоносных равномернозернистых лерцолитов (41,5 %). Таким образом, использование программы «MineralogicalAnalyse» позволяет судить не только о глубинных источниках клинопироксенов из кимберлитов, но и о степени алмазоносности данных источников.

Ключевые слова: минералы-индикаторы кимберлита, парагенезис, алмазоносный, клинопироксены, кимберлиты.

ВЛАСОВА ЭЛЬВИРА АЛЕКСАНДРОВНА, геолог I категории, KulaninaEA@alrosa.ru

ХМЕЛЬКОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ветеран АК «АЛРОСА» (ПАО), st_56@mail.ru

Вилюйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО), Республика Саха (Якутия), пос. Айхал

Investigation of paragenetic peculiarities of the composition of clinopyroxenes from kimberlites (the Chukuk pipe, Yakutia, as an example)

E. A. VLASOVA, A. M. KHMEL'KOV

Vilyuisk Geological Exploration Expedition of AK "ALROSA" (PAO), Republic of Sakha (Yakutia), Aikhal

The MineralogicalAnalyse specialized computer program was applied to study the chemical composition of clinopyroxenes from kimberlites of the Chukuk pipe. The software was especially designed to identify a paragenetic affinity of kimberlite minerals, based on their composition. It is able to recognize 31 parageneses among the clinopyroxenes. The compositional peculiarities of clinopyroxenes of the distinguished parageneses and their relationships were described in detail. The data presented most completely characterize the paragenetic diversity of clinopyroxenes from kimberlites and their related placers. According to the investigation, kimberlites of the Chukuk pipe are dominated by clinopyroxenes of poorly diamond-bearing parageneses, which consistent with the poor diamond-bearing potential of the body. The varieties from poorly diamond-bearing equigranular lherzolites are most common (41,5 %). Thus, the usage of the MineralogicalAnalyse software allows one to judge not only on deep-seated sources of clinopyroxenes from kimberlites, but also to do on the diamond-bearing potential of these sources.

Key words: kimberlite indicator minerals, paragenesis, diamond-bearing, clinopyroxenes, kimberlites.

Введение. Выяснение парагенетической принадлежности минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) имеет важное поисковое значение, так как парагенезис глубинных минералов несёт информацию об алмазоносности кимберлитовых пород. В связи с особенностями своего формирования кимберлитовые тела различаются набором глубинных минеральных парагенезисов, при этом состав минералов каждого парагенезиса, как правило, типоморфен. Присутствие

в кимберлитах МИК достаточно широкого спектра парагенезисов, различающихся количественными соотношениями и уровнем алмазоносности их источников, позволяет использовать данное обстоятельство при поисках и прогнозировании коренных источников алмаза.

С помощью специализированной программы «MineralogicalAnalyse» изучен химический состав клинопироксенов из кимберлитов трубки Чукукская,

расположенной в пределах Алакит-Мархинского кимберлитового поля Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Трубка была выявлена в 1993 г. в результате поискового бурения, размеры её составляют 150 × 160 м. С поверхности тело полностью перекрыто интрузивными долеритами мощностью более 90 м. По данным кернового опробования, кимберлиты трубки отнесены к слабоалмазоносным.

Теоретическая часть. Программа «Mineralogical-Analyse» специально создана для пересчёта рентгено-спектральных (микронных) анализов и определения парагенетической специализации МИК на основе их состава [6]. Основу эталонной базы программы по химическому составу клинопироксенов составили сведения из опубликованных источников [1, 2, 4, 5, 7], дополненные оригинальными анализами авторов. Значительная часть эталонной базы программы представлена составами клинопироксенов из глубинных ксенолитов, обнаруженных в кимберлитах, которые ранее уже были расклассифицированы и «привязаны» к минералам определённых парагенезисов [2, 5]. В результате детального кластерного анализа составов клинопироксенов из различных источников определено более тридцати парагенетических групп, различающихся по химизму и степени алмазоносности их источников. Составы по выделенным парагенетическим группам были внесены в базу программы «Mineralogical-Analyse» в качестве эталонов, на основе которых и устанавливается парагенетическая принадлежность клинопироксенов.

Помимо составов клинопироксенов непосредственно из кимберлитов, в эталонную базу программы «Mineralogical-Analyse» внесены составы разновидностей из кимберлитоподобных пород (коматиитов), а также пироксенов некимберлитового генезиса (из базальтоидов), широко распространённых в шлиховых ореолах. Без учёта данных составов определение парагенетической специализации клинопироксенов из ореолов рассеяния с использованием их состава будет приводить к существенному искажению результатов.

К клинопироксенам высокоалмазоносных парагенезисов нами отнесены разновидности, присутствующие в качестве включений в алмазах или сростков с ними, при этом априори предполагалась их связь с процессом глубинного алмазообразования и кристаллизация в области стабильности алмаза. Данные клинопироксены имеют типоморфные для них составы. К алмазоносным парагенезисам отнесены разновидности исключительно из алмазоносных ксенолитов, также обладающие характерными составами. К разновидностям потенциально алмазоносных парагенезисов отнесены клинопироксены, встречающиеся преимущественно в алмазоносных ксенолитах и лишь незначительно

в неалмазоносных. Разности слабоалмазоносных парагенезисов в основном представлены клинопироксенами из неалмазоносных ксенолитов с единичными находками из алмазоносных ксенолитов с соответствующими составами. К пироксенам неалмазоносных парагенезисов отнесены те разновидности, которые обнаружены исключительно в неалмазоносных ксенолитах или вообще имеют некимберлитовый генезис с типичными для них составами.

Набор клинопироксенов различных парагенезисов, которые распознаёт программа «Mineralogical-Analyse» на основе их состава, достаточно разнообразный, и по данному показателю клинопироксены уступают лишь гранатам [6]. В общей сложности программа на сегодня способна распознавать по составу клинопироксенов 31 парагенезис, среди которых разновидности как ультраосновной, так и пироксенит-эклогитовой ассоциации. Ниже приводятся перечень клинопироксенов данных парагенезисов и их аббревиатуры, которые программа «Mineralogical-Analyse» автоматически присваивает каждому составу:

- из включений в алмазах ультраосновного парагенезиса – ВАУ;
- из включений в алмазах и сростков с алмазами – ВСА;
- из включений в алмазах и сростков с алмазами с низкохромистым клинопироксеном – ВСАНХ;
- из включений в алмазах и сростков с алмазами с высокохромистым клинопироксеном – ВСАВХ;
- из включений в алмазах и сростков с алмазами с высокожелезистым клинопироксеном – ВСАВЖ;
- из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов – ВАМЖЭ;
- из алмазоносных метаморфизованных ультрамафитов типа коматиитов Французской Гвианы (пикритовых шошонитов, лампрофиров) – АМУ;
- из потенциально алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов – ПАМЖЭ;
- из потенциально алмазоносных дистеновых и гроспидитовых эклогитов – ПАДГЭ;
- из потенциально алмазоносных глинозёмистых эклогитов – ПАГЭ;
- из слабоалмазоносных равномернозернистых лерцолитов – САРЛ;
- из слабоалмазоносных катаклазированных равномернозернистых лерцолитов, в том числе ильменитовых – САКЛ;
- из слабоалмазоносных равномернозернистых ильменитовых лерцолитов, вебстеритов и пироксенитов – САРЛВП;
- из слабоалмазоносных лерцолитов и вебстеритов – САЛВ;
- из слабоалмазоносных вебстеритов и пироксенитов – САВП;

- из слабоалмазоносных ильменитовых перидотитов и пироксенитов – САПП;
- из слабоалмазоносных биминеральных эклогитов – САБЭ;
- из слабоалмазоносных глинозёмистых эклогитов – САГЭ;
- из неалмазоносных равномернозернистых лерцолитов – НРЛ;
- из неалмазоносных ильменитовых лерцолитов – НИЛ;
- из неалмазоносных ферроалькремитов – НФ;
- из неалмазоносных железистых эклогитоподобных пород – НЖЭП;
- из неалмазоносных глинозёмистых эклогитов – НГЭ;
- из неалмазоносных шпинелевых дунитов – НШД;
- из неалмазоносных шпинелевых вебстеритов, в том числе с плагиоклазом и графитом – НШВ;
- из неалмазоносных пироксенитов – НП;
- из неалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов и высококальциевых пироксенитов – НМЖЭП;
- из неалмазоносных апатитсодержащих рутиловых эклогитов – НРЭА;
- из неалмазоносных рутиловых эклогитов, в том числе кварцсодержащих – НРЭ;
- из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов, в том числе флогопитовых – НГИПП;
- пироксены некимберлитового генезиса (из базальтоидов) – НПБ.

В табл. 1 приведены средние составы клинопироксенов по каждому парагенезису из эталонной базы программы «MineralogicalAnalyse», а на рис. 1 представлена кластерная дендограмма, показывающая соотношения средних составов клинопироксенов различных парагенетических групп.

Из рис. 1 видно, что составы клинопироксенов основной массы парагенезисов не образуют многочисленных кластерных групп. Лишь немногие клинопироксены по составу объединились в отдельные кластеры из 2–3 парагенезисов на относительно низком уровне связывания. Для клинопироксенов большинства парагенезисов всё же характерны индивидуальные составы, в связи с чем они находятся друг от друга на значительном удалении (евклидовом расстоянии). Наиболее близкими составами обладают клинопироксены из потенциально алмазоносных глинозёмистых эклогитов (ПАГЭ-парагенезис) и неалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов и высококальциевых пироксенитов (НМЖЭП-парагенезис), которые располагаются на дендограмме на достаточно низком уровне связывания. Сходство составов клинопироксенов данных парагенезисов

видно и из табл. 1, где по большинству оксидов наблюдаются довольно близкие значения для разностей данных парагенезисов. По компонентному составу клинопироксены обоих парагенезисов представлены геденбергит-жадеит-диопсидами. Незначительные отличия касаются лишь того, что пироксены НМЖЭП-парагенезиса более глинозёмистые (в среднем 9,09 мас.% Al_2O_3) и кальциевистые (в среднем 15,33 мас.% CaO) по сравнению с пироксенами из потенциально алмазоносных глинозёмистых эклогитов (8,42 и 14,70 мас.% соответственно) [2]. Кроме этого, разности из неалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов и высококальциевых пироксенитов совершенно не содержат калия (см. табл. 1). По другим оксидам отличия между клинопироксенами характеризующихся парагенезисов менее заметны.

Несмотря на значительную близость по составу клинопироксенов НМЖЭП-парагенезиса и разностей из потенциально алмазоносных глинозёмистых эклогитов (ПАГЭ-парагенезис), данный состав был внесён в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse» в качестве самостоятельной парагенетической единицы. Разности НМЖЭП-парагенезиса с характерным для них составом были установлены сотрудниками объединения «Аэрогеология» исключительно в неалмазоносных ксенолитах Mg-Fe-эклогитов из трубок Глубокая и Мгришница Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля ЯАП, а также в ксенолитах неалмазоносных высококальциевых пироксенитов из тр. Мгришница (И. М. Осташкин, 1990 г.).

Среди клинопироксенов других парагенезисов, характеризующихся схожими составами и, как следствие, располагающихся на кластерной дендограмме на низком уровне связывания (см. рис. 1), следует отметить разности ВАУ-, САРЛВП- и САПВ-парагенезисов. Примечательно, что один из этих парагенезисов является высокоалмазоносным (ВАУ-парагенезис), а два других относятся к слабоалмазоносным. Несмотря на то, что составы клинопироксенов данных парагенезисов располагаются на более высоком уровне связывания по сравнению с пироксенами описанных выше парагенезисов, их сходство действительно значительное. Клиннопироксены всех трёх парагенезисов по компонентному составу относятся к энстатит-диопсидам (см. табл. 1) и представлены низкожелезистыми (в среднем от 1,99–2,76 мас.% FeO), низкоглинозёмистыми (в среднем 1,46–2,14 мас.% Al_2O_3) и низкотитанистыми (в среднем 0,07–0,11 мас.% TiO_2) разностями с невысоким содержанием натрия (в среднем 1,26–1,83 мас.% Na_2O) и повышенными концентрациями магния (в среднем 16,36–17,3 мас.% MgO) и кальция (в среднем 20,46–21,28 мас.% CaO) [2, 5]. В то же время клинопироксены из включений в алмазах ультраосновного парагенезиса (ВАУ-парагенезис)

1. Средние составы клинопироксенов по парагенетическим группам, мас.%

№№ п/п	Парагенезис	SiO ₂	FeO	TiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Компонентный состав
1	ВАУ	55,06	1,99	0,11	1,43	1,46	1,80	0,05	17,07	20,46	0,24	энстатит-диопсид
2	ВСА	55,44	2,25	0,12	5,26	4,71	4,74	0,06	12,54	14,20	0,00	юрийт-жадеит-диопсид
3	ВСАНХ	55,60	2,06	0,25	3,07	3,63	1,22	0,05	15,03	18,34	0,04	жадеит-диопсид
4	ВСАВХ	55,05	1,95	0,17	8,51	4,75	11,56	0,05	8,29	9,15	0,02	жадеит-юрийт-диопсид
5	ВСАВЖ	54,70	6,17	0,44	7,78	4,60	6,43	0,06	8,48	12,10	0,03	акмит-юрийт-жадеит-диопсид
6	ВАМЖЭ	52,99	5,02	0,28	1,03	2,24	0,26	0,21	19,51	17,77	0,01	энстатит-диопсид
7	АМУ	52,13	7,78	0,15	0,44	0,98	0,00	4,60	14,59	17,88	0,21	Mn-энстатит-геденбергит-диопсид
8	ПАМЖЭ	52,15	11,33	1,12	2,01	3,24	0,10	0,16	10,40	17,52	0,41	жадеит-геденбергит-диопсид
9	ПАДГЭ	55,88	2,09	0,27	7,72	15,98	0,05	0,02	6,87	10,99	0,07	диопсид-жадеит
10	ПАГЭ	54,93	5,00	0,51	4,79	8,42	0,10	0,06	11,16	14,70	0,12	геденбергит-жадеит-диопсид
11	САРЛ	54,64	2,14	0,13	2,95	2,91	3,30	0,05	14,97	17,99	0,01	юрийт-жадеит-диопсид
12	САКЛ	55,35	3,40	0,23	1,59	1,79	1,12	0,10	18,41	17,97	0,03	энстатит-диопсид
13	САРЛВП	54,17	2,13	0,17	1,83	2,14	1,69	0,27	16,36	20,08	0,00	энстатит-диопсид
14	САЛВ	52,56	3,12	0,57	1,85	5,39	0,79	0,12	15,57	19,73	0,02	энстатит-диопсид
15	САВП	54,64	2,76	0,07	1,26	1,63	0,82	0,07	17,30	21,28	0,03	энстатит-диопсид
16	САПП	55,70	5,80	0,33	2,22	2,91	0,19	0,07	17,17	14,94	0,03	жадеит-энстатит-диопсид
17	САБЭ	54,56	2,85	0,54	1,91	3,99	0,22	0,05	15,20	20,62	0,21	жадеит-диопсид
18	САГЭ	46,16	2,70	0,28	2,98	15,61	0,08	0,05	10,87	18,01	0,06	жадеит-Са-чермакит-диопсид
19	НРЛ	48,85	3,49	0,46	1,06	8,43	2,76	0,00	15,80	18,55	0,03	энстатит-Са-чермакит-диопсид
20	НИЛ	56,50	2,82	0,13	3,15	2,80	2,08	0,03	16,05	16,27	0,00	энстатит-жадеит-диопсид
21	НФ	51,78	3,87	0,60	1,45	8,59	0,04	0,00	13,28	19,83	0,00	жадеит-геденбергит-диопсид
22	НЖЭП	52,72	10,23	0,04	0,15	0,66	0,07	0,25	11,88	24,10	0,00	геденбергит-диопсид
23	НГЭ	49,69	6,97	1,40	2,35	8,61	0,07	0,16	11,44	19,24	0,01	геденбергит-диопсид
24	НШД	55,66	1,62	0,00	1,11	0,88	0,52	0,00	16,30	23,66	0,00	жадеит-диопсид
25	НШВ	52,08	2,23	0,13	0,98	4,82	1,04	0,08	15,83	22,70	0,00	Са-чермакит-диопсид
26	НП	55,38	4,09	0,33	1,84	3,18	0,66	0,01	19,38	14,95	0,00	жадеит-энстатит-диопсид
27	НМЖЭП	54,83	4,65	0,45	4,29	9,09	0,15	0,06	11,07	15,33	0,00	геденбергит-жадеит-диопсид
28	НРЭА	53,60	10,01	0,16	3,79	4,10	0,07	0,00	10,26	17,89	0,00	акмит-геденбергит-жадеит-диопсид
29	НРЭ	54,82	9,89	0,17	5,93	7,13	0,02	0,01	7,88	14,09	0,00	акмит-геденбергит-жадеит-диопсид
30	НГИПП	54,12	4,69	0,53	1,94	2,48	0,43	0,02	16,05	19,62	0,00	энстатит-диопсид
31	НПБ	48,49	7,83	0,58	1,04	7,46	0,04	0,14	13,70	20,85	0,12	энстатит-Са-чермакит-диопсид

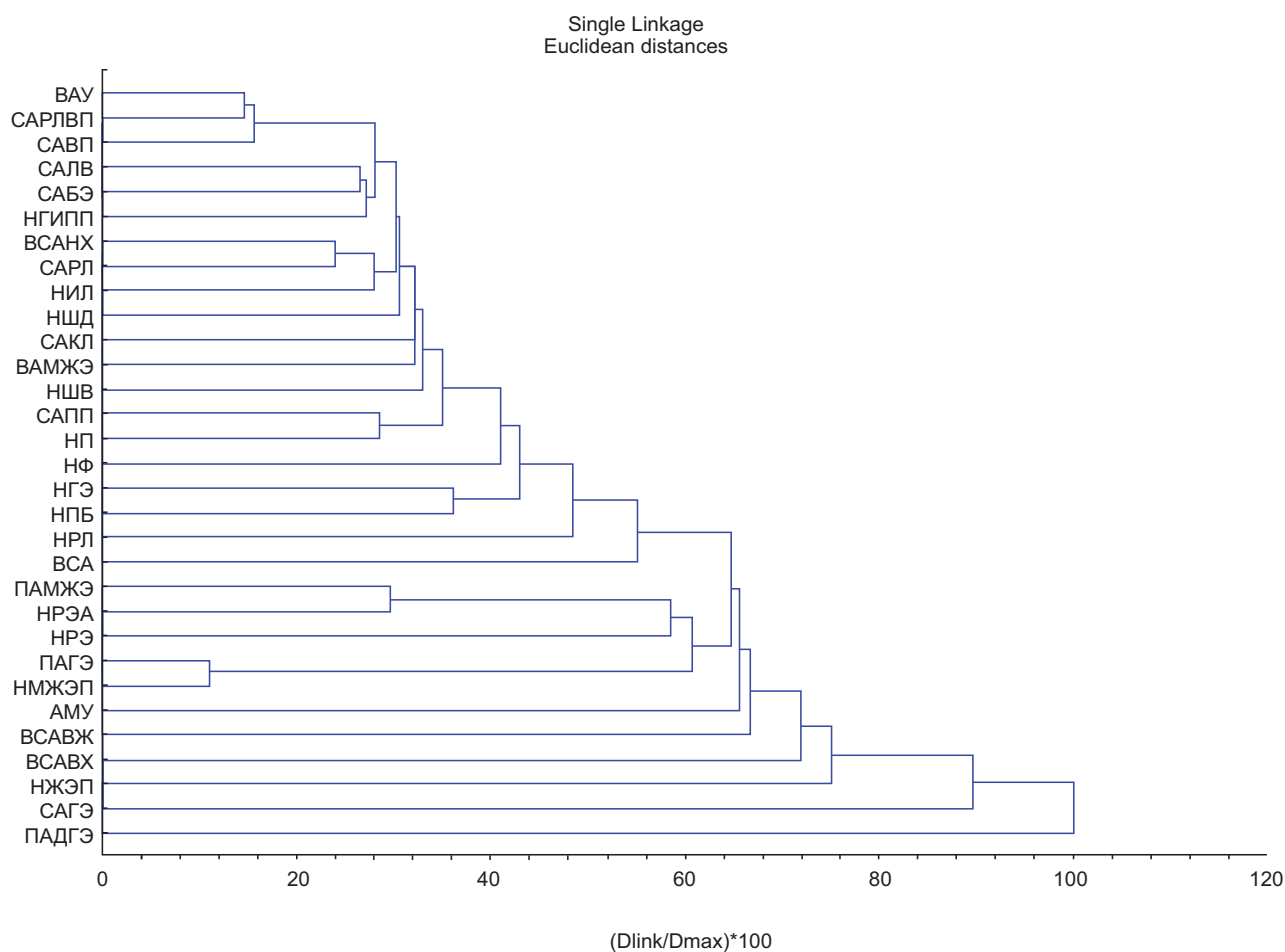


Рис. 1. Результаты кластерного анализа составов клинопироксенов различных парагенетических групп:

см. названия парагенезисов в тексте (стр. 70–73).

содержат более высокие концентрации калия (в среднем 0,24 мас.% K_2O) и кремнезёма (в среднем 55,06 мас.% SiO_2) по сравнению с клинопироксенами слабоалмазоносных парагенезисов (см. табл. 1). Одновременно клинопироксены САРЛВП-парагенезиса в отличие от разностей из слабоалмазоносных вебстеритов и пироксенитов (САВП-парагенезис) обладают более высокими параметрами по титану, натрию, глинозёму, хрому и марганцу при более низких содержаниях магния и кальция (см. табл. 1). Благодаря данным отличительным особенностям программа «MineralogicalAnalyse» достаточно надёжно различает по составу клинопироксены всех трёх парагенезисов.

На относительно низком уровне связывания (см. рис. 1) размещаются составы пироксенов из включений в алмазах и сростков с алмазами с низкохромистым клинопироксеном (ВСАНХ-парагенезис) и из слабоалмазоносных равномернозернистых лерцолитов

(САРЛ-парагенезис). Клинопироксены обоих парагенезисов представлены низкожелезистыми (в среднем 2,06–2,14 мас.% FeO) и низкотитанистыми (в среднем 0,13–0,25 мас.% TiO_2) разностями с относительно повышенным содержанием оксида натрия (в среднем 2,95–3,08 мас.% Na_2O) [2, 5]. Однако клинопироксены из слабоалмазоносных равномернозернистых лерцолитов содержат значительно более высокие концентрации хрома (в среднем 3,30 мас.% Cr_2O_3) в отличие от менее хромистых разностей высокоалмазоносного ВСАНХ-парагенезиса (в среднем 1,22 мас.% Cr_2O_3). Имеются отличия и по другим оксидам в составах клинопироксенов характеризуемых парагенезисов, в частности по SiO_2 , TiO_2 и Al_2O_3 (см. табл. 1), хотя и менее значительные. Как результат, низкохромистые клинопироксены из включений в алмазах и сростков с алмазами по компонентному составу относятся к жадеит-диопсидам, в то время

как разности САРЛ-парагенезиса представлены юриит-жадеит-диопсидами.

Несколько схожий состав с клинопироксенами охарактеризованных выше двух парагенезисов имеют разности из неалмазоносных ильменитовых лерцолитов (НИЛ-парагенезис), которые на кластерной дендограмме располагаются в непосредственной близости от составов клинопироксенов ВСАНХ- и САРЛ-парагенезисов, но на более высоком уровне связывания (см. рис. 1). Клинопироксены НИЛ-парагенезиса также содержат невысокие концентрации железа (в среднем 2,82 мас.% FeO) и титана (в среднем 0,13 мас.% TiO₂) при повышенном содержании натрия (в среднем 3,15 мас.% Na₂O) [2, 5]. Однако в отличие от разностей ВСАНХ- и САРЛ-парагенезисов клинопироксены из неалмазоносных ильменитовых лерцолитов являются более магниальными (в среднем 16,05 мас.% MgO) при меньшей кальциевости (в среднем 16,27 мас.% CaO). Кроме этого, клинопироксены НИЛ-парагенезиса отличаются более высокими параметрами по кремнезёму (в среднем 56,50 мас.% SiO₂). По компонентному составу клинопироксены из неалмазоносных ильменитовых лерцолитов относятся к энстатит-жадеит-диопсидам (см. табл. 1).

Схожесть составов просматривается также у разностей из слабоалмазоносных ильменитовых перидотитов и пироксенитов (САПП-парагенезис) с клинопироксенами из неалмазоносных пироксенитов (НП-парагенезис). На кластерной дендограмме составы клинопироксенов обоих парагенезисов находятся в парной связи, хотя и на достаточно высоком уровне (см. рис. 1). В то же время при практически равных количествах кальция и титана у разностей данных парагенезисов (см. табл. 1), клинопироксены из слабоалмазоносных ильменитовых перидотитов и пироксенитов являются более железистыми (в среднем 5,80 мас.% FeO) при более низких концентрациях глинозёма (в среднем 2,91 мас.% Al₂O₃), хрома (в среднем 0,19 мас.% Cr₂O₃) и магния (в среднем 17,17 мас.% MgO) [2, 5] по сравнению с разностями НП-парагенезиса. По компонентному составу клинопироксены двух парагенезисов относятся к жадеит-энстатит-диопсидам (см. табл. 1). Несмотря на относительно повышенные содержания натрия (в среднем 1,84 мас.% Na₂O) и хрома (в среднем 0,66 мас.% Cr₂O₃), а также присутствие жадеитового компонента в составе разностей НП-парагенезиса (см. табл. 1), клинопироксены с соответствующим составом установлены в ксенолитах неалмазоносных пироксенитов из тр. Мгришница Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля ЯАП (И. М. Осташкин, 1990 г.).

На аналогичном уровне связывания располагаются составы клинопироксенов двух эклогитовых парагенезисов (см. рис. 1), а именно разностей из потенци-

ально алмазоносных магниально-железистых эклогитов (ПАМЖЭ-парагенезис) и неалмазоносных апатитсодержащих рутиловых эклогитов (НРЭА-парагенезис). Действительно, клинопироксены обоих парагенезисов являются высокожелезистыми с очень близкими параметрами по магнию, кальцию и хрому (см. табл. 1). Но на этом их сходство заканчивается, так как по большинству других оксидов клинопироксены данных парагенезисов существенно различаются между собой. Разности ПАМЖЭ-парагенезиса содержат более высокие концентрации титана (в среднем 1,12 мас.% против 0,16 мас.% TiO₂) и максимальное по сравнению с клинопироксенами всех других парагенезисов количество калия (в среднем 0,42 мас.% K₂O) [2, 5]. Кроме этого, при аномально высокой железистости для клинопироксенов обоих парагенезисов разности из потенциально алмазоносных магниально-железистых эклогитов являются более железистыми (в среднем 11,33 мас.% FeO) в отличие от пироксенов из неалмазоносных апатитсодержащих рутиловых эклогитов (в среднем 10,01 мас.% FeO). Имеются отличия в составе данных клинопироксенов и по другим оксидам, в частности по оксидам натрия и марганца, а также по кремнезёму и глинозёму (см. табл. 1). Как результат, по компонентному составу клинопироксены ПАМЖЭ-парагенезиса относятся к жадеит-геденбергит-диопсидам, в то время как разности НРЭА-парагенезиса представлены акмит-геденбергит-жадеит-диопсидами. Следует добавить, что клинопироксены НРЭА-парагенезиса с характерным для них составом (см. табл. 1) были зафиксированы в ксенолитах неалмазоносных пироксенитов из трубок Ноябрьская и Русловая Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля ЯАП (И. М. Осташкин, 1990 г.).

Определённая схожесть составов просматривается и у клинопироксенов таких парагенезисов, как разности из неалмазоносных глинозёмистых эклогитов (НГЭ-парагенезис), которые отмечаются, в том числе, в эклогитоподобных породах [2, 5], и пироксены некимберлитового генезиса, а именно из базальтоидов (НПБ-парагенезис). На кластерной дендограмме составы клинопироксенов данных парагенетических групп находятся в парной связи (см. рис. 1), хотя и на более высоком уровне по сравнению с описанными выше составами. Клинопироксены данных парагенезисов относятся к высокоглинозёмистым разностям (в среднем 7,46–8,61 мас.% Al₂O₃) с невысоким содержанием кремнезёма (в среднем 48,49–49,69 мас.% SiO₂) и несколько повышенными концентрациями железа (в среднем 6,97–7,83 мас.% FeO) и титана (в среднем 0,58–1,40 мас.% TiO₂). В то же время клинопироксены из неалмазоносных глинозёмистых эклогитов значительно более титанистые (в среднем 1,40 мас.% TiO₂) [2] по сравнению с пироксенами из базальтоидов

(см. табл. 1). К тому же они содержат более высокую концентрацию оксида натрия (2,35 мас.% против 1,04 мас.% Na_2O) и значительно более низкие количества оксидов магния (11,44 мас.% против 13,07 мас.% MgO) и кальция (19,24 мас.% против 20,85 мас.% CaO). По компонентному составу клинопироксены НГЭ-парагенезиса относятся к геденбергит-диопсидам, тогда как пироксены из базальтоидов представлены энстатит-Са-чермакит-диопсидами. Состав пироксенов из базальтоидов [4] был внесён в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse» в качестве индивидуального состава, характерного для минерала самостоятельного парагенезиса, в связи с повсеместной встречаемостью данной разновидности в ореолах рассеяния, особенно в районах с широким развитием пород трапповой формации. Пироксены из базальтоидов отличаются от клинопироксенов большинства кимберлитовых парагенезисов, особенно ультраосновной ассоциации, пониженным содержанием кремнезёма и магния, более высокими концентрациями кальция и титана при минимальном содержании хрома (см. табл. 1). По данным параметрам пироксены НПБ-парагенезиса приближаются к составам некоторых клинопироксенов эклогитовой специализации.

Общую кластерную группу, хотя и на достаточно высоком уровне связывания (см. рис. 1), образуют составы клинопироксенов трёх парагенезисов: разностей из слабоалмазоносных лерцолитов и вебстеритов (САЛВ-парагенезис), из слабоалмазоносных биминеральных эклогитов (САБЭ-парагенезис) и клинопироксенов из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов, в том числе в парагенезисе с флогопитом (НГИПП-парагенезис). В первую очередь, сходство составов клинопироксенов данных парагенезисов проявляется в близких содержаниях оксидов титана (в среднем в пределах 0,53–0,57 мас.% TiO_2), натрия (в пределах 1,85–1,94 мас.% Na_2O) и магния (15,20–16,06 мас.% MgO) (см. табл. 1). Однако по остальным оксидам составы клинопироксенов данных парагенезисов отличаются друг от друга, причём по концентрации железа, хрома и глинозёма достаточно существенно. Так, клинопироксены из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов (НГИПП-парагенезис) более железистые (в среднем 4,69 мас.% FeO) по сравнению с разностями двух слабоалмазоносных парагенезисов (в среднем 3,12 и 2,85 мас.% FeO) [2, 5]. Одновременно клинопироксены НГИПП-парагенезиса содержат значительно меньше глинозёма (в среднем 2,48 мас.% Al_2O_3) в отличие от разностей из слабоалмазоносных лерцолитов и вебстеритов, а также от клинопироксенов из биминеральных эклогитов (в среднем 5,39 и 3,99 мас.% Al_2O_3 соответственно). Прослеживаются отличия и по остальным оксидам

в составе клинопироксенов данных парагенезисов (см. табл. 1), хотя они и менее значительные. По компонентному составу клинопироксены САЛВ- и НГИПП-парагенезисов относятся к энстатит-диопсидам, а разности из слабоалмазоносных биминеральных эклогитов (САБЭ-парагенезис) к жадеит-диопсидам. В отличие от близких по составу клинопироксенов двух слабоалмазоносных парагенезисов (САЛВ- и САБЭ-парагенезисов) клинопироксены НГИПП-парагенезиса установлены исключительно в неалмазоносных ксенолитах гранат-ильменитовых перидотитов (тр. Слюдянка) и гранат-ильменитовых пироксенитов (трубки Слюдянка, Мгришница) Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля ЯАП (И. М. Осташкин, 1990).

Клинопироксены остальных парагенезисов по составам проявляют достаточную самостоятельность и индивидуальность. Прежде всего это касается клинопироксенов высокоалмазоносных парагенезисов, составы которых на кластерной дендограмме в большинстве своём располагаются на значительном удалении от составов клинопироксенов других парагенезисов (см. рис. 1). Составы клинопироксенов двух из шести высокоалмазоносных парагенезисов охарактеризованы выше (ВАУ- и ВСАНХ-парагенезисы). Клинопироксены из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (ВАМЖЭ-парагенезис) обладают умеренной железистостью (в среднем 5,02 мас.% FeO) при невысоких содержаниях глинозёма (в среднем 2,24 мас.% Al_2O_3), оксидов титана (в среднем 0,28 мас.% TiO_2) и натрия (в среднем 1,03 мас.% Na_2O) [2, 5]. По содержанию титана, кальция и магния (см. табл. 1) клинопироксены данного парагенезиса схожи с разностями из слабоалмазоносных катаклазированных равномернозернистых лерцолитов, в том числе в парагенезисе с пикроильменитом (САКЛ-парагенезис), что и обусловило расположение составов на кластерной дендограмме в относительной близости друг от друга (см. рис. 1). По компонентному составу клинопироксены данных парагенезисов представлены энстатит-диопсидами (см. табл. 1). Однако клинопироксены САКЛ-парагенезиса по сравнению с разностями высокоалмазоносного ВАМЖЭ-парагенезиса более хромистые (в среднем 1,12 мас.% против 0,26 мас.% Cr_2O_3) и менее железистые (3,40 мас.% против 5,02 мас.% FeO), к тому же обладают значительно более высокой концентрацией кремнезёма (55,35 мас.% против 52,99 мас.% SiO_2) [2].

Клинопироксены из включений в алмазах и сростков с ними (ВСА-парагенезис) отличаются повышенными содержаниями натрия (в среднем 5,26 мас.% Na_2O) и хрома (в среднем 4,74 мас.% Cr_2O_3) при одновременно невысокой железистости (в среднем 2,25 мас.% FeO), умеренных концентрациях магния (в среднем 12,54 мас.% MgO) и кальция (в среднем 14,20 мас.%

CaO) [2, 5]. По компонентному составу клинопироксены ВСА-парагенезиса относятся к юриит-жадеит-диопсидам (см. табл. 1). На кластерной дендограмме состав клинопироксенов данного парагенезиса располагается на значительном уровне связывания от составов клинопироксенов остальных парагенезисов (см. рис. 1), что свидетельствует о его индивидуальности.

Высокожелезистые клинопироксены из включений в алмазах и сростков с ними (ВСАВЖ-парагенезис), напротив, характеризуются повышенной железистостью (в среднем 6,17 мас.% FeO) при ещё более высоких содержаниях натрия (в среднем 7,78 мас.% Na₂O) и хрома (в среднем 6,43 мас.% Cr₂O₃). Кроме этого, для клинопироксенов данного парагенезиса характерны пониженные концентрации магния (в среднем 8,48 мас.% MgO) и кальция (в среднем 12,10 мас.% CaO) [2, 5]. По компонентному составу клинопироксены ВСАВЖ-парагенезиса относятся к акмит-юриит-жадеит-диопсидам (см. табл. 1). На кластерной дендограмме состав клинопироксенов данного парагенезиса располагается на большом удалении по уровню связывания от составов разностей всех остальных парагенезисов (см. рис. 1), что также говорит о кардинальном отличии по составу клинопироксенов ВСАВЖ-парагенезиса от других клинопироксенов.

Высокохромистые клинопироксены из включений в алмазах и сростков с ними (ВСАВХ-парагенезис) обладают беспрецедентно высокой хромистостью (в среднем 11,56 мас.% Cr₂O₃), причём не только по сравнению с клинопироксенами высокоалмазоносных парагенезисов, но и со всеми остальными разностями (см. табл. 1). Помимо этого, клинопироксены ВСАВХ-парагенезиса отличаются максимальным среди разностей всех парагенезисов содержанием натрия (в среднем 8,51 мас.% Na₂O) при одновременно минимальном количестве кальция (в среднем 9,15 мас.% CaO). К тому же для клинопироксенов ВСАВХ-парагенезиса характерны пониженные железистость (в среднем 1,95 мас.% FeO) и магниальность (в среднем 8,29 мас.% MgO) [2, 5]. По компонентному составу высокохромистые клинопироксены из включений в алмазах и сростков с ними относятся к жадеит-юриит-диопсидам (см. табл. 1). На кластерной дендограмме состав клинопироксенов данного парагенезиса, как и разностей ВСАВЖ-парагенезиса, располагается на значительном расстоянии по уровню связывания от составов клинопироксенов всех остальных парагенезисов (см. рис. 1).

Клинопироксены АМУ-парагенезиса с характерным для них составом (см. табл. 1) установлены совместно с высокомарганцовистыми гранатами [6] в качестве включений в алмазах из алмазоносных метаморфизованных ультрамафитов типа коматитов Французской Гвианы (пикритовые шошониты, лам-

профиры) [7]. По составу клинопироксены из алмазоносных метаморфизованных ультрамафитов обладают повышенной железистостью (в среднем 7,78 мас.% FeO) при одновременно невысокой глинозёмистости (в среднем 0,98 мас.% Al₂O₃). Кроме этого, для клинопироксенов данного парагенезиса характерны минимальные содержания натрия (в среднем 0,44 мас.% Na₂O) при полном отсутствии хрома (см. табл. 1). Примечательно и то, что в клинопироксенах АМУ-парагенезиса отмечается повышенная концентрация калия (в среднем 0,21 мас.% K₂O). Но главным отличием данных клинопироксенов является аномально высокое содержание марганца, составляющее в среднем 4,60 мас.% MnO [7], что не характерно для клинопироксенов ни одного из определяемых программой «MineralogicalAnalyse» парагенезиса (см. табл. 1). По компонентному составу разности из алмазоносных метаморфизованных ультрамафитов (АМУ-парагенезис) относятся к высокомарганцовистым энстатит-геденбергит-диопсидам. На кластерной дендограмме состав клинопироксенов данного парагенезиса занимает индивидуальное положение на значительном уровне связывания от составов разностей других парагенезисов (см. рис. 1). Хотя клинопироксены АМУ-парагенезиса и встречаются в породах, не относящихся к типичным кимберлитам, их состав был внесён в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse» в качестве самостоятельной парагенетической единицы. Не исключено, что высокомарганцовистые клинопироксены подобного состава, как и высокомарганцовистые гранаты, могут иметь место в ореолах рассеяния в пределах ЯАП, особенно в её окраинных частях, подвергнутых складчатости, где поставщиками данных высокомарганцовистых минералов алмазоносных парагенезисов могли служить нетрадиционные источники алмазов.

Для клинопироксенов из неалмазоносных железистых эклогитоподобных пород (НЖЭП-парагенезис) также характерны невысокие содержания натрия (в среднем 0,15 мас.% Na₂O) и глинозёма (в среднем 0,66 мас.% Al₂O₃) ([2, 5] при минимальной концентрации хрома (см. табл. 1). Однако в отличие от разностей АМУ-парагенезиса клинопироксены НЖЭП-парагенезиса значительно более железистые (в среднем 10,23 мас.% FeO) и менее марганцовистые (в среднем 0,25 мас.% MnO). Помимо этого, клинопироксены из неалмазоносных железистых эклогитоподобных пород обладают более низкой концентрацией магния (в среднем 11,88 мас.% MgO) при максимальном по сравнению с клинопироксенами всех остальных парагенезисов содержании кальция (в среднем 24,10 мас.% CaO). По компонентному составу разности НЖЭП-парагенезиса относятся к геденбергит-диопсидам (см. табл. 1). На кластерной дендограмме клинопироксены данного

парагенезиса расположены на одном из максимальных уровней связывания от клинопироксенов остальных парагенезисов (см. рис. 1), что свидетельствует об индивидуальности их состава.

Клинопироксены из неалмазоносных шпинелевых дунитов (НШД-парагенезис) и неалмазоносных шпинелевых вебстеритов, в том числе в парагенезисе с плагиоклазом и графитом (НШВ-парагенезис) с характерными для них составами (см. табл. 1), обнаружены в ксенолитах соответствующих пород из тр. Ноябрьская Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля ЯАП (И. М. Осташкин, 1990 г.). Клинопироксены данных парагенезисов отличаются невысокими содержаниями железа (в среднем 1,62–2,23 мас.% FeO) и натрия (в среднем 0,98–1,11 мас.% Na₂O) при повышенных магнезиальности (в среднем 15,83–16,30 мас.% MgO) и кальциевости (в среднем 22,70–23,66 мас.% CaO). В то же время разности из неалмазоносных шпинелевых вебстеритов в отличие от клинопироксенов НШД-парагенезиса более глинозёмистые (4,82 мас.% против 0,88 мас.% Al₂O₃) и хромистые (1,04 мас.% против 0,52 мас.% Cr₂O₃), к тому же обладают более низкими параметрами по кремнезёму (52,08 мас.% против 55,06 мас.% SiO₂). По компонентному составу клинопироксены из неалмазоносных шпинелевых дунитов относятся к жадеит-диопсидам, тогда как разности из неалмазоносных шпинелевых вебстеритов – к Са-чермакит-диопсидам (см. табл. 1). На кластерной дендограмме составы клинопироксенов данных парагенезисов пространственно несколько разобщены друг от друга (см. рис. 1) и достаточно удалены по уровню связывания от составов клинопироксенов остальных парагенезисов.

Клинопироксены из неалмазоносных ферроалькремитов (НФ-парагенезис) также обладают своеобразным составом, что хорошо видно из кластерной дендограммы (см. рис. 1), на которой состав клинопироксенов данного парагенезиса расположен на значительном уровне связывания от составов пироксенов остальных парагенезисов. Для пироксенов НФ-парагенезиса характерны невысокие содержания железа (в среднем 3,87 мас.% FeO) и натрия (в среднем 1,45 мас.% Na₂O) при одновременно умеренной магнезиальности (в среднем 13,28 мас.% MgO) и несколько повышенной кальциевости (в среднем 19,83 мас.% CaO) [2, 5]. Но главной отличительной особенностью клинопироксенов данного парагенезиса является их повышенная глинозёмистость, составляющая в среднем 8,59 мас.% Al₂O₃ (см. табл. 1), при одновременно пониженной концентрации кремнезёма (в среднем 51,78 мас.% SiO₂). Ко всему прочему, клинопироксены из неалмазоносных ферроалькремитов стерильны по отношению к марганцу и калию при минимальном содержании хрома (в среднем 0,04 мас.% Cr₂O₃).

По компонентному составу клинопироксены НФ-парагенезиса являются жадеит-геденбергит-диопсидами (см. табл. 1).

Клинопироксены из неалмазоносных равномерно-зернистых лерцолитов (НРЛ-парагенезис) по сравнению с охарактеризованными выше разновидностями слабоалмазоносного САРЛ-парагенезиса обладают значительно более высоким содержанием глинозёма (среднем 8,43 мас.% Al₂O₃) при более низкой концентрации натрия (в среднем 1,06 мас.% Na₂O). К тому же для клинопироксенов НРЛ-парагенезиса характерна более высокая железистость (в среднем 3,49 мас.% FeO) [2, 5]. Кроме всего прочего, клинопироксены данного парагенезиса отличаются весьма невысоким содержанием кремнезёма – в среднем 48,85 мас.% SiO₂ (см. табл. 1), что более характерно для пироксенов из пород основного состава. По компонентному составу клинопироксены из неалмазоносных равномерно-зернистых лерцолитов относятся к энстатит-Са-чермакит-диопсидам. При этом содержание чермакитового компонента в них в среднем превышает 18%. На дендограмме кластерного анализа состав клинопироксенов данного парагенезиса существенно удалён по уровню связывания не только от состава клинопироксенов своего слабоалмазоносного аналога (САРЛ-парагенезиса), но и от клинопироксенов всех остальных парагенезисов (см. рис. 1), что подчёркивает своеобразие состава данных клинопироксенов.

Как видно из дендограммы кластерного анализа (см. рис. 1), состав клинопироксенов из неалмазоносных рутиловых эклогитов, в том числе кварцсодержащих (НРЭ-парагенезис), проявляет некоторые черты сходства с составами клинопироксенов ПАМЖЭ-и НРЭА-парагенезисов, хотя и расположен от них на достаточно высоком уровне связывания. Клинопироксены НРЭ-парагенезиса отличают высокие содержания натрия (в среднем 5,93 мас.% Na₂O) и глинозёма (среднем 7,13 мас.% Al₂O₃) при пониженной кальциевости (в среднем 14,09 мас.% CaO) и минимальной концентрации магния (в среднем 7,88 мас.% MgO). Кроме этого, для разностей данного парагенезиса характерно почти полное отсутствие хрома (в среднем 0,02 мас.% Cr₂O₃). По компонентному составу клинопироксены из неалмазоносных рутиловых эклогитов относятся к акмит-геденбергит-жадеит-диопсидам (см. табл. 1). Клинопироксены данного парагенезиса установлены в ксенолитах неалмазоносных рутиловых эклогитов (включая кварцсодержащие) из трубок Руслвая, Мгришница и Нюрба Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля ЯАП (И. М. Осташкин, 1990 г.).

Составы клинопироксенов из слабоалмазоносных глинозёмистых эклогитов (САГЭ-парагенезис) и потенциально алмазоносных дистеновых и гроспидитовых эклогитов (ПАДГЭ-парагенезис) наиболее

кардинально отличаются от составов клинопироксенов всех других парагенезисов. На кластерной дендограмме их составы расположены на максимальном удалении по уровню связывания от разностей остальных парагенезисов (см. рис. 1). Основным отличием клинопироксенов САГЭ- и ПАДГЭ-парагенезисов является аномально высокое содержание глинозёма (см. табл. 1), в среднем превышающее 15 мас.% Al_2O_3 [2, 5]. Помимо этого, клинопироксены данных парагенезисов отличают невысокие магнизиальность (в среднем 6,87–10,87 мас.% MgO) и железистость (в среднем 2,09–2,70 мас.% FeO) при минимальном содержании хрома (в среднем 0,05–0,08 мас.% Cr_2O_3). В то же время разности из слабоалмазоносных глинозёмистых эклогитов в отличие от клинопироксенов ПАДГЭ-парагенезиса содержат значительно более низкие концентрации кремнезёма (в среднем 46,16 мас.% против 55,88 мас.% SiO_2) и натрия (в среднем 2,98 мас.% против 7,72 мас.% Na_2O) при одновременно более высоких содержаниях магния (в среднем 10,87 мас.% против 6,87 мас.% MgO) и кальция (в среднем 18,01 мас.% против 10,99 мас.% MgO) [2, 5]. По компонентному составу клинопироксены САГЭ-парагенезиса относятся к жадеит-Са-чермакит-диопсидам, тогда как разности из потенциально алмазоносных дистеновых и гроспидитовых эклогитов – к диопсид-жадеитам (см. табл. 1). При этом содержание жадеитового компонента в клинопироксенах ПАДГЭ-парагенезиса превышает 50%.

Согласно приведённым данным, для клинопироксенов алмазоносных парагенезисов (от высоко- до потенциально алмазоносных) в отличие от разностей неалмазоносных парагенезисов более характерны повышенные содержания калия, который практически не типичен для клинопироксенов неалмазоносных парагенезисов, а также натрия и хрома, при более низких параметрах по кальцию (см. табл. 1). Особенно это свойственно клинопироксенам ультраосновной ассоциации. Кроме этого, для клинопироксенов алмазоносных парагенезисов ультраосновной ассоциации характерны более низкие концентрации магния (см. табл. 1), хотя и нельзя сказать, что отмеченные особенности в составе клинопироксенов присущи абсолютно всем разностям среди выделенного набора парагенетических групп. В ряде случаев имеются некоторые исключения. Так, клинопироксены из включений в алмазах (ВАУ-парагенезис) могут содержать менее 1 мас.% оксида натрия (в среднем 1,43 мас.% Na_2O), в то время как в разностях из неалмазоносных рутиловых эклогитов содержание Na_2O в среднем составляет 5,93 мас.% (см. табл. 1). В качестве другого примера можно привести клинопироксены ВСА-парагенезиса, в которых полностью отсутствует калий, тогда как разности из неалмазоносных равно-

мернозернистых лерцолитов (НРЛ-парагенезис) могут содержать до 0,05 мас.% оксида калия (в среднем 0,03 мас.% K_2O). Исключения существуют и по другим оксидам. Тем не менее отмеченная тенденция в различиях по составу клинопироксенов алмазоносных и неалмазоносных парагенезисов характерна для большинства разностей среди выделенного набора парагенетических групп (см. табл. 1).

Методика исследований. Химический состав клинопироксенов из тр. Чукукская исследован в Центральной аналитической лаборатории АК «АЛРОСА» на электронно-зондовой системе «Superprobe-8800R» фирмы «JEOL» (Япония), объединяющей возможности растрового электронного микроскопа высокого разрешения и высокочувствительного микроанализатора. Определения проведены на пятиканальном волновом микроанализаторе JXA-8800R фирмы «JEOL» с рентгеноспектральной приставкой LINK-ISIS 300 фирмы «Oxford» (Англия) с энергетическим разрешением 133 Эв и вакуумным постом JEE-400 фирмы «JEOL» (аналитик А. С. Иванов). Концентрации элементов определены с относительной ошибкой менее 5 % и чувствительностью до 10p ppm и менее при увеличении времени накопления импульсов. Полный количественный анализ выполнен при ускоряющем напряжении 20 кВт и токе пучка 10 nA. Для внутреннего контроля при изучении состава клинопироксенов применялись минеральные стандарты, изготовленные и аттестованные в ИГМ СО РАН г. Новосибирска.

Всего из тр. Чукукская изучено 65 зёрен клинопироксенов. Результаты микронзондовых определений приведены в табл. 2. Химические составы клинопироксенов, полученные при исследовании зёрен на рентгеновском микроанализаторе, были подвергнуты информационно-генетическому анализу авторами работы с применением оригинальной программы «MineralogicalAnalyse» для определения их парагенетической принадлежности.

Учитывая, что основная масса макрокристаллов минералов в кимберлитах (> 1 мм) имеет ксеногенное происхождение и связана с дезинтеграцией ксенолитов глубинных пород, программа «MineralogicalAnalyse» позволяет уверенно соотносить по составу МИК с глубинными минеральными парагенезисами. Заложенный в программе алгоритм пересчёта анализов и отнесения клинопироксенов к определённому парагенезису основан на использовании чисто химического состава минерала с привлечением статистических методов, без использования дискриминантных функций [2, 3]. Соответствие клинопироксенов конкретному парагенезису определяется программой по минимальному значению евклидова расстояния в процессе сопоставления их химического

2. Составы клинопироксенов из тр. Чукукская и результаты их пересчёта с использованием программы «MineralogicalAnalyse», мас.%

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Соответствие парагенетической группе
1	54,98	0,14	0,61	1,94	2,62	0,05	15,89	21,13	2,06	0,00	99,40	BAU
2	54,71	0,19	2,20	1,82	3,06	0,07	15,65	18,56	2,57	0,05	98,88	САРЛВП
3	54,51	0,25	2,26	3,21	2,47	0,09	15,07	18,18	2,99	0,02	99,06	САРЛ
4	54,67	0,32	2,71	2,43	2,74	0,09	15,56	16,97	3,31	0,02	98,83	САРЛ
5	54,74	0,29	1,90	0,62	4,77	0,11	18,68	16,23	1,75	0,01	99,11	САКЛ
6	54,94	0,17	1,36	2,66	2,50	0,10	15,11	19,91	1,89	0,01	98,64	САРЛВП
7	54,47	0,11	0,85	2,51	1,78	0,06	15,93	21,23	2,13	0,00	99,07	САРЛВП
8	54,63	0,13	0,79	3,77	2,36	0,12	15,39	19,27	2,80	0,00	99,25	САРЛ
9	54,08	0,19	3,07	1,89	2,75	0,11	14,69	19,35	3,04	0,01	99,19	САРЛ
10	53,72	0,19	1,75	1,50	3,53	0,11	15,86	20,00	2,28	0,04	98,97	САРЛВП
11	53,89	0,11	1,02	2,65	2,32	0,05	15,93	20,24	2,45	0,00	98,67	САРЛВП
12	54,50	0,08	2,01	1,94	2,62	0,08	16,45	18,15	2,68	0,03	98,54	САРЛВП
13	55,01	0,37	1,90	2,70	4,24	0,10	14,70	16,43	3,66	0,02	99,12	НИЛ
14	55,04	0,08	2,58	2,18	2,11	0,09	15,23	19,47	2,41	0,02	99,20	САРЛ
15	54,20	0,11	0,95	2,89	2,39	0,08	15,75	19,92	2,62	0,00	98,90	САРЛВП
16	54,28	0,25	2,69	5,14	2,61	0,08	4,33	14,88	4,59	0,05	98,89	ВСА
17	54,34	0,24	2,40	2,58	2,49	0,05	16,04	17,62	3,29	0,06	99,12	САРЛ
18	54,58	0,19	2,16	2,08	2,69	0,11	15,66	19,13	2,58	0,06	99,24	САРЛВП
19	54,54	0,29	1,77	0,68	4,56	0,15	19,82	15,57	1,70	0,05	99,14	НП
20	54,98	0,52	3,12	0,91	4,32	0,10	18,09	14,20	2,98	0,02	99,23	НП
21	53,90	0,21	2,10	2,92	2,38	0,08	15,41	19,06	2,73	0,03	98,82	САРЛ
22	53,97	0,23	2,34	3,04	2,24	0,06	15,03	18,97	3,06	0,01	98,94	САРЛ
23	54,71	0,05	3,42	3,30	2,03	0,08	14,06	17,45	3,91	0,00	99,00	САРЛ
24	54,59	0,27	2,64	2,24	3,33	0,06	14,75	17,65	3,17	0,00	98,70	САРЛ
25	54,39	0,33	1,91	0,48	4,76	0,13	18,92	16,33	1,91	0,05	99,21	НП
26	54,40	0,05	2,68	2,23	2,20	0,12	15,30	18,95	2,94	0,00	98,88	САРЛ
27	54,39	0,25	1,68	0,60	4,58	0,13	19,23	16,54	1,54	0,03	98,98	ВАМЖЭ
28	55,85	0,24	2,29	0,62	4,35	0,11	19,46	14,36	1,90	0,05	99,22	НП
29	54,69	0,19	2,05	2,52	2,43	0,12	15,69	18,58	2,73	0,00	99,01	САРЛ
30	54,14	0,04	0,57	2,58	1,90	0,07	16,20	21,31	2,05	0,01	98,86	САРЛВП
31	54,61	0,19	2,02	2,98	2,27	0,08	15,32	18,39	2,94	0,02	98,81	САРЛ
32	54,32	0,34	2,68	2,49	2,74	0,12	15,82	16,83	3,42	0,01	98,79	НИЛ
33	53,47	0,25	2,57	1,77	2,44	0,10	15,97	19,21	2,77	0,02	98,57	САРЛВП

№№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Соответствие парагенетической группе
34	54,80	0,23	2,53	2,51	2,23	0,09	15,53	18,22	2,92	0,05	99,11	САРЛ
35	54,68	0,23	2,26	2,84	2,03	0,09	14,94	19,52	2,64	0,01	99,23	САРЛ
36	55,06	0,22	2,13	1,16	3,40	0,16	15,11	19,55	2,28	0,02	99,08	САРЛВП
37	55,45	0,17	0,51	1,65	3,24	0,07	14,52	21,03	2,02	0,00	98,66	ВАУ
38	55,39	0,29	2,50	2,83	2,56	0,07	14,46	18,11	2,96	0,04	99,23	САРЛ
39	55,74	0,19	2,80	3,29	2,23	0,09	14,11	17,51	3,38	0,02	99,36	САРЛ
40	55,85	0,20	1,55	1,34	2,78	0,09	17,36	18,36	1,69	0,06	99,27	САКЛ
41	55,34	0,16	2,25	2,24	2,43	0,10	15,13	19,24	2,67	0,02	99,59	САРЛ
42	55,09	0,32	1,88	1,56	3,67	0,08	14,52	18,53	2,64	0,01	98,30	ВСАНХ
43	55,85	0,44	3,17	0,92	4,41	0,11	17,56	13,95	2,84	0,03	99,27	САПП
44	56,22	0,28	2,39	0,54	4,40	0,16	19,33	14,22	1,87	0,03	99,43	НП
45	56,71	0,04	0,50	2,01	1,84	0,07	15,19	21,52	1,67	0,03	99,58	ВАУ
46	55,27	0,17	1,84	4,65	1,93	0,11	14,70	16,29	3,49	0,04	98,51	САРЛ
47	54,90	0,19	2,37	3,80	3,80	0,13	14,08	16,02	3,67	0,03	98,99	САРЛ
48	55,22	0,25	2,10	1,27	3,15	0,07	15,16	19,62	2,22	0,01	99,08	САРЛВП
49	54,94	0,30	1,94	1,52	2,46	0,12	15,73	20,43	1,92	0,04	99,41	САРЛВП
50	55,56	0,25	2,31	1,35	2,49	0,05	14,66	20,17	2,30	0,01	99,13	САРЛВП
51	56,13	0,07	2,50	2,17	1,95	0,05	14,70	19,94	2,23	0,02	99,75	САРЛВП
52	54,30	0,42	2,43	2,75	3,07	0,13	14,90	16,79	3,61	0,01	98,40	САРЛ
53	55,31	0,12	2,61	4,05	2,25	0,10	14,39	16,42	3,75	0,05	99,04	САРЛ
54	54,65	0,15	2,15	2,69	3,07	0,13	14,72	18,75	2,94	0,05	99,30	САРЛ
55	55,45	0,03	2,93	2,49	2,03	0,08	14,42	18,57	3,08	0,00	99,09	САРЛ
56	55,04	0,12	3,81	3,49	2,31	0,13	13,36	17,17	3,96	0,02	99,41	САРЛ
57	55,57	0,18	3,35	3,07	2,99	0,15	14,13	15,72	3,91	0,01	99,08	НИЛ
58	55,62	0,09	2,08	2,18	1,99	0,10	14,99	19,54	2,10	0,00	98,70	САРЛВП
59	55,49	0,08	0,21	1,16	2,62	0,07	15,85	22,09	1,42	0,01	98,99	НШД
60	55,06	0,17	2,55	2,17	2,13	0,10	14,73	19,64	2,50	0,01	99,05	САРЛ
61	54,89	0,23	1,49	1,54	2,73	0,12	17,81	18,35	1,77	0,04	98,96	САКЛ
62	55,15	0,09	1,47	2,61	2,48	0,07	15,38	19,42	2,40	0,00	99,08	ВАУ
63	54,67	0,20	2,16	3,69	2,42	0,12	15,31	16,92	3,21	0,05	98,75	САРЛ
64	57,44	0,05	1,78	1,78	2,11	0,13	15,39	19,17	1,49	0,11	99,45	ВАУ
65	54,55	0,09	0,60	2,46	2,17	0,05	15,94	21,05	1,94	0,03	98,89	САРЛВП

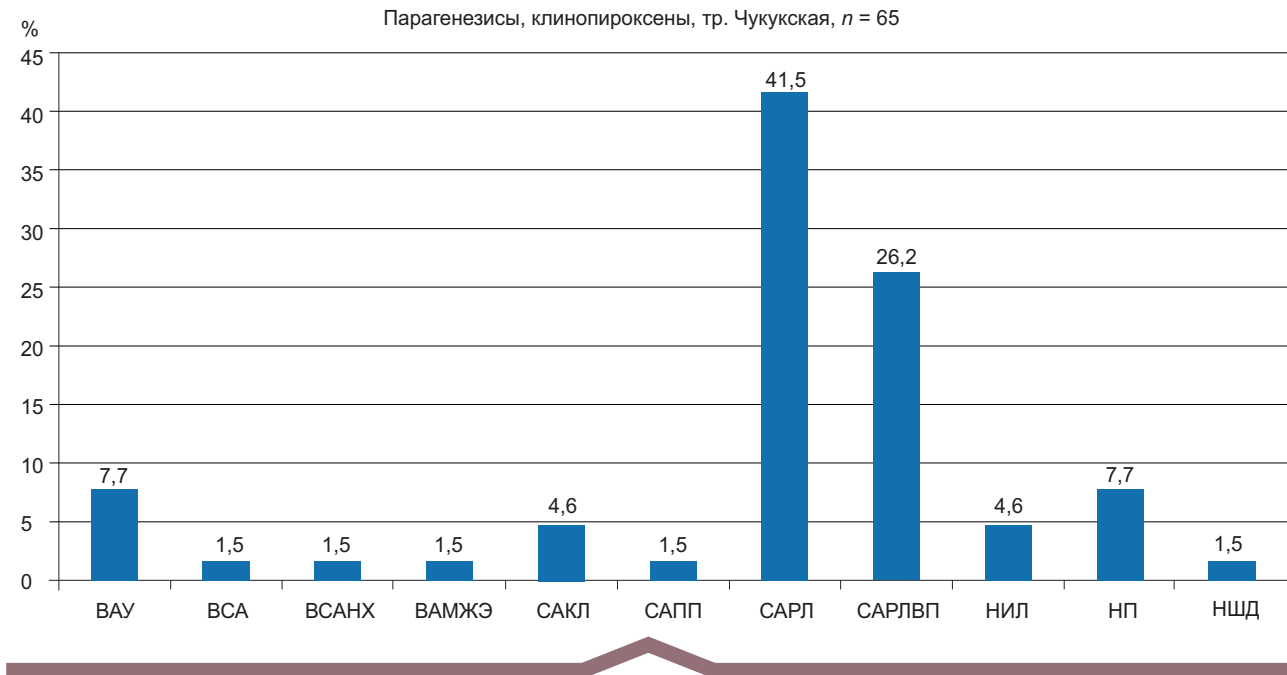


Рис. 2. Распределение клинопироксенов из тр. Чукукская по парагенетическим группам на основе их состава

состава с составами минерала из эталонных парагенезисов, внесённых в базу данной программы (с учётом среднего значения и доверительных интервалов по оксидам). По результатам пересчёта каждому индивидуальному составу программа автоматически присваивает аббревиатуру из начальных букв соответствующего парагенезиса минерала (см. табл. 2). Распределение клинопироксенов из тр. Чукукская по парагенетическим группам в результате пересчёта их составов с помощью программы «MineralogicalAnalyse» иллюстрирует рис. 2.

Результаты исследований. Результаты исследований показали, что основная масса клинопироксенов из тр. Чукукская по составу соответствует разностям из слабоалмазоносных равномернозернистых лерцолитов (САРЛ-парагенезис), на долю которых приходится 41,5% (см. рис. 2). Одновременно устанавливается достаточно высокое содержание (26,2%) клинопироксенов из слабоалмазоносных равномернозернистых ильменитовых лерцолитов, вебстеритов и пироксенитов (САРЛВП-парагенезис). Кроме этого, в изученной выборке присутствуют клинопироксены ещё двух слабоалмазоносных парагенезисов: из слабоалмазоносных катаклазированных равномернозернистых лерцолитов, в том числе в парагенезисе с ильменитом (САКЛ-парагенезис), и из слабоалмазоносных ильменитовых перидотитов и пироксенитов (САПП-парагенезис), на долю которых приходится 4,6 и 1,5%, соответственно (см. рис. 2).

В сумме содержание клинопироксенов слабоалмазоносных парагенезисов составляет 73,8%, что, в общем-то, согласуется со слабой алмазоносностью кимберлитов из тр. Чукукская. Однако данное обстоятельство считать закономерной связью преждевременно. Для достоверного выявления корреляционной связи между содержанием клинопироксенов определённых парагенезисов и степенью алмазоносности кимберлитов необходимо более представительное число анализов, причём из разных кимберлитовых тел с различной степенью алмазоносности. К сожалению, состав клинопироксенов из кимберлитов изучен значительно хуже по сравнению с такими МИК, как гранат или пикроильменит. В том числе по причине отсутствия его не в каждом кимберлитовом теле. Поэтому в настоящее время на основе парагенетических особенностей состава клинопироксенов можно пока более определённо судить лишь о степени алмазоносности глубинных источников данного минерала (высокоалмазоносные эклогиты, слабоалмазоносные лерцолиты, неалмазоносные пироксениты и т. д.).

Наравне с преобладанием клинопироксенов слабоалмазоносных парагенезисов в изученной выборке зёрен из тр. Чукукская имеются разности высокоалмазоносных парагенезисов (см. рис. 2). Среди клинопироксенов, по составу отвечающих высокоалмазоносным парагенезисам, наиболее распространены разности из включений в алмазах ультраосновной ассоциации (ВАУ-парагенезис), на долю которых

приходится 7,7%. Кроме этого, отмечаются различия из включений в алмазах и сростков с ними с низкохромистым клинопироксеном (ВСАНХ-парагенезис) и из сростков с алмазами (ВСА-парагенезис), содержание которых по результатам исследований составило по 1,5% для каждой парагенетической группы. Примечательно, что среди клинопироксенов из тр. Чукукская присутствуют различия, по составу отвечающие клинопироксенам из высокоалмазных магнезиально-железистых эклогитов (ВАМЖЭ-парагенезис – 1,5%). Клинопироксены высокоалмазных парагенезисов – неотъемлемая составляющая часть алмазных кимберлитов, в том числе с промышленными содержаниями алмазов, и само присутствие их в трубках свидетельствует о потенциальной алмазности тел.

Среди исследованных клинопироксенов также встречаются различия, по составу отвечающие клинопироксенам неалмазных парагенезисов (см. рис. 2). В частности, отмечены клинопироксены из неалмазных ильменитовых лерцолитов (НИЛ-парагенезис – 4,6%), неалмазных пироксенитов (НП-парагенезис – 7,7%) и неалмазных шпинелевых дунитов (НШД-парагенезис – 1,5%).

Заключение. Как показали результаты исследований состава клинопироксенов с использованием программы «MineralogicalAnalyse», в кимберлитах слабоалмазной тр. Чукукская преобладают различия, отвечающие именно слабоалмазным парагенезисам (73,8%). Одновременно зафиксированы клинопироксены, по составу соответствующие высокоалмазным парагенезисам, суммарное содержание которых составило 12,3%. Наличие таких клинопироксенов в пробах указывает на потенциальную алмазность их источников. Общее содержание клинопироксенов неалмазных парагенезисов составило 13,8%. Особенностью исследованной выборки клинопироксенов из тр. Чукукская является и незначительное содержание различий, по составу соответствующих эклогитовым парагенезисам, на долю которых приходится всего 1,5%.

Таким образом, использование программы «MineralogicalAnalyse» позволяет надёжно идентифицировать парагенетическую принадлежность клинопироксенов на основе их состава и более достоверно судить об источниках данного минерала в кимберлитах и связанных с ними ореолах рассеяния. Выделенные парагенетические группы клинопироксенов, составы которых внесены в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse», на сегодня наиболее полно характеризуют парагенетическое разнообразие состава данного минерала из кимберлитов и шлиховых ореолов. Специфика составов клинопироксенов из охарактеризованных парагенезисов совместно с парагенети-

ческими особенностями состава других кимберлитовых минералов могут быть использованы при алмазопроисловых работах как для идентификации поисковых объектов, так и при оценке потенциальной алмазности коренных источников алмаза.

Авторы выражают огромную благодарность Гриценко Андрею Викторовичу за помощь в создании программы «MineralogicalAnalyse» и написание алгоритма пересчёта анализов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А., Кудрявцева Г. П., Васильева Е. Р., Вержак В. В., Веричев Е. М., Парсаданян К. С., Посухова Т. В. Архангельская алмазная провинция. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 524 с.
2. Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Марфунин А. С., Михайличенко О. А. Включения в алмазе и алмазные породы. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 240 с.
3. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. – М.: Мир, 1983. – 300 с.
4. Каминский Ф. В. Алмазность некимберлитовых изверженных пород. – М.: Недра, 1984. – 173 с.
5. Кротков В. В., Кудрявцева Г. П., Богатиков Е. П., Валувев Е. П., Вержак В. В., Гаранин В. К., Заостровцев А. А., Кононова В. А., Литинский Ю. В., Пашкевич И. Р., Степанов А. Н., Фортыхин В. С. Новые технологии разведки алмазных месторождений. – М.: ГЕОС, 2001. – 310 с.
6. Хмельков А. М., Власова Э. А. Парагенезисы гранатов из кимберлитов // Вестник ВГУ, серия: Геология. – 2018. – № 4. – С. 9–19.
7. Smith C. B., Bulanova G. P., Walter M. J., Kohn S. C., Mikhail S., Gobbo L. Origin of diamonds from the Dachine ultramafic, French Guyana // 10-th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 10IKC-97. – 2012.

REFERENCES

1. Bogatnikov O. A., Garanin V. K., Kononova V. A., Kudryavtseva G. P., Vasil'eva E. R., Verzhak V. V., Verichev E. M., Parsadanyan K. S., Posukhova T. V. Arkhangel'skaya almazonnaya provintsiya [Arkhangelsk diamondiferous province], Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1999, 524 p. (In Russ.).
2. Garanin V.K., Kudryavtseva G.P., Marfunin A.S., Mikhailichenko O.A. Vkluyucheniya v almaze i almazonosnye porody [Inclusions in diamond and diamond-bearing rocks], Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1991, 240 p. (In Russ.).
3. Douson Dzh. Kimberlity i ksenolity v nikh [Kimberlites and their xenoliths], Moscow, Mir publ., 1983, 300 p. (In Russ.).

4. *Kaminskii F. V.* Almazonosnost' nekimberlitovykh izverzhennykh porod [Diamondiferous non-kimberlitic igneous rocks], Moscow, Nedra publ., 1984, 173 p. (In Russ.).
5. *Krotkov V. V., Kudryavtseva G. P., Bogatkov E. P., Valuev E. P., Verzhak V. V., Garanin V. K., Zaostrovtssev A. A., Kononova V. A., Litinskii Yu. V., Pashkevich I. R., Stepanov A. N., Fortygin V. S.* Novye tekhnologii razvedki almaznykh mestorozhdenii [New technologies for exploration of diamond deposits], Moscow, GEOS publ., 2001, 310 p. (In Russ.).
6. *Khmelkov A. M., Vlasova E. A.* Paragenezisy granatov iz kimberlitov [Garnet paragenesis from kimberlites], Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya: Geologiya [Proceedings of Voronezh State University, Series: Geology], 2018, No 4, pp. 9–19. (In Russ.).
7. *Smith C. B., Bulanova G. P., Walter M. J., Kohn S. C., Mikhail S., Gobbo L.* Origin of diamonds from the Dachine ultramafic, French Guyana, 10-th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 10IKC-97, 2012.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-28-47,
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1