

## **ПАРАГЕНЕЗИСЫ ГРАНАТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ**

**А. М. Хмельков, Э. А. Власова**

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

Поступила в редакцию 1 октября 2018 г.

**Аннотация:** рассмотрен метод разделения химических составов минералов-индикаторов кимберлитов на парагенезисы с использованием оригинальной программы «MineralogicalAnalyse». Применение данной программы позволяет надежно и качественно определять парагенетическую принадлежность минералов из кимберлитов и родственных им пород. Программа «MineralogicalAnalyse» на данный момент способна распознавать среди составов гранатов 41 парагенезис. Среди определяемых парагенезисов присутствуют гранаты не только ультраосновной, но и эцлогитовой ассоциации, а также переходного (пироксенитового) типа. Детально описаны парагенезисы гранатов из кимберлитов, их взаимоотношения и особенности химизма. Приведенный набор парагенезисов на сегодня наиболее полно характеризует парагенетическое разнообразие гранатов из кимберлитов. Использование данных парагенезисов позволяет судить о глубинных источниках гранатов из кимберлитов и их потенциальной алмазоносности. Применение программы «MineralogicalAnalyse» способно существенно повысить качество алмазопоисковых работ.

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

### **GARNET PARAGENESIS FROM KIMBERLITES**

**Abstract:** the method of separation chemical compositions kimberlite tracer minerals on paragenesis is considered with use of the original program «MineralogicalAnalyse». Application of the program allows reliably and qualitatively to define the paragenetic accessory of minerals from kimberlites and kimberlite-like rocks. The program «MineralogicalAnalyse» is capable to recognize 41 paragenesis among garnet compositions now. Among the designated paragenesis are garnets not only ultramafic association, but also from eclogite, as well as transition (pyroxenite) type. Garnet paragenesis from kimberlites, their interrelations and particularities of chemism were thoroughly described. Given a set of paragenesis most fully characterize paragenetic diversity of garnets from kimberlites at present. The proposed set of paragenesis allows to speculate the deep sources of kimberlite garnets and their potential diamondiferous. Application of the program "MineralogicalAnalyse" enable significantly improve the quality of diamond prospecting.

**Key words:** kimberlite tracer minerals, paragenesis, diamondiferous, garnets, kimberlites.

#### **Введение**

Выяснение парагенезиса минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) имеет важное значение при поисках алмазных месторождений, так как не только позволяет судить о степени алмазоносности источников данных минералов, но и помогает в решении задачи идентификации шлиховых ореолов. Кимберлитовые тела, в связи с особенностями их формирования, различаются набором различных минеральных парагенезисов и их количественными соотношениями. Состав минералов каждого конкретного парагенезиса типоморфен. При общей трансформации минеральной ассоциации в процессе ореолообразования, набор парагенезисов МИК и их соотношения слабо меняются. Данное обстоятельство позволяет прово-

дить сравнительный анализ минералов из шлиховых ореолов и кимберлитовых тел.

Большинство составов минералов глубинных ксенолитов из кимберлитов расклассифицировано и «привязано» к определенным парагенезисам. Однако по получаемому в результате электронно-зондовых исследований химическому составу минерала «визуально» достаточно трудно определить его генетическую принадлежность.

#### **Фактический материал и методика обработки**

Для пересчета химических составов МИК (граната, пикроильменита, хромшпинелида, оливина, клинопироксена) на парагенезисы была создана оригинальная программа «MineralogicalAnalyse». Принцип

работы данной программы подробно рассмотрен в ранее опубликованных материалах [1, 2]. Поэтому здесь кратко рассмотрим лишь алгоритм пересчета составов минералов на парагенезисы. При этом отметим, что при составлении программы «Mineralogical Analyse» не ставилась задача создания какой-либо новой генетической классификации МИК. Основной задачей данной программы является корректное определение источника (парагенезиса), к которому принадлежит конкретный минерал на основе известных составов-парагенезисов, заложенных в программу в качестве эталонной базы. Алгоритм отнесения составов к определенному парагенезису основан не на дискриминантных функциях [3–5], а с использованием чисто химсоставов минералов. Программой учитывается процентное содержание каждого оксида (в мас. %) по данным рентгеноспектрального анализа и осуществляется определение парагенетической принадлежности состава с привлечением статистических методов на основе макросов. Каждый состав сопоставляется с эталонными составами парагенезисов, внесенными в программу, с учетом их среднего значения и доверительных интервалов (мин. – макс.). Парагенезис, к которому относится конкретный состав, определяется по минимальному значению евклидова расстояния. В конечном итоге каждому индивидуальному составу программой присваивается аббревиатура из начальных букв соответствующего парагенезиса.

Основу эталонной базы программы «Mineralogical Analyse» составили химсоставы из генетической классификации МИК, разработанной сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова [4, 5 и др.], существенно дополненной составами минералов из опубликованных источников [6–10 и др.] и собственных данных, полученных в процессе работ. Важным преимуществом программы является то, что в ней заложена возможность внесения дополнительных составов-парагенезисов и, в случае необходимости, их правки. Таким об-

разом, данная программа не законсервированная, а живая, постоянно меняющаяся.

Все вносимые в эталонную базу программы составы-парагенезисы вначале подвергались детальному кластерному анализу. С помощью статистических методов оценивалось поведение этих «новых» составов между собой внутри конкретного парагенезиса. В результате данного анализа некоторые составы отбраковывались, в случае их существенного отличия от основной массы составов «нового» оцениваемого парагенезиса. Затем анализировался состав «нового» парагенезиса и оценивалось его место уже среди имеющегося набора парагенезисов (по уровню связывания). Только в случае четкого отличия состава «нового» парагенезиса от уже имеющихся, данный состав-парагенезис добавлялся в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse». Приоритет при этом отдавался тем составам, которые являлись алмазоносными аналогами уже существующего неалмазоносного парагенезиса, или неалмазоносными аналогами известного алмазоносного парагенезиса.

На сегодня программа «MineralogicalAnalyse» способна распознавать среди составов гранатов 41 парагенезис, причем не только ультраосновной, но и эфолитовой ассоциации, а также переходного (пироксенитового) типа. К высокоалмазоносным парагенезисам отнесены составы минералов, встречающиеся в качестве включений в алмазах или сростков с ними. К алмазоносным – составы исключительно из алмазоносных ксенолитов. К потенциально алмазоносным отнесены составы, встречающиеся преимущественно в алмазоносных ксенолитах и незначительно в неалмазоносных. Слабоалмазоносные парагенезисы представлены составами в основном из неалмазоносных ксенолитов с единичными находками в алмазоносных ксенолитах. К неалмазоносным парагенезисам отнесены составы, встречающиеся исключительно в неалмазоносных ксенолитах. Диалоговое окно программы «MineralogicalAnalyse» представлено на рис. 1.

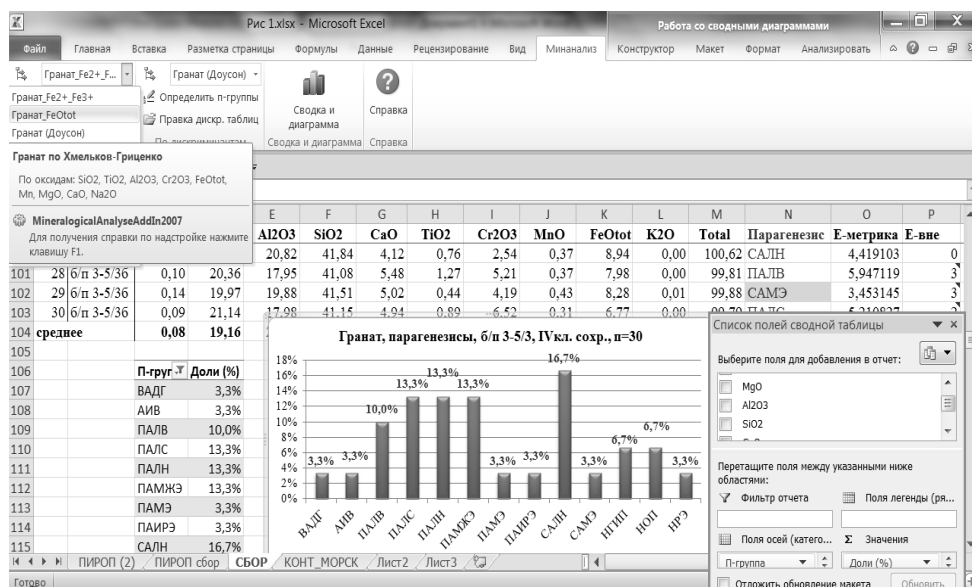


Рис. 1. Диалоговое окно программы «MineralogicalAnalyse».

### Парагенетические особенности гранатов

Ниже приводится перечень распознаваемых программой «MineralogicalAnalyse» парагенезисов и аббревиатуры из начальных букв, которые программа автоматически присваивает каждому составу:

1) из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов – *ВАДГ*; 2) из высокоалмазоносных магнезиальных эклогитов – *ВАМЭ*; 3) из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов – *ВАМЖЭ*; 4) из алмазоносных перидотитов – *АП*; 5) из алмазоносных лерцолитов с аномальнохромистым гранатом – *АЛА*; 6) из алмазоносных ильменитовых верлитов – *АИВ*; 7) из алмазоносных вебстеритов – *АВ*; 8) из алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов – *АМЖП*; 9) из алмазоносных гроспидитов – *АГ*; 10) из алмазоносных магнезиальных кальциево-глиноземистых эклогитов – *АМКГЭ*; 11) из алмазоносных метаморфизованных ультрамафитов с аномальномарганцовистым гранатом-спессартином – *АМУ*; 12) из потенциально алмазоносных лерцолитов с высокохромистым гранатом – *ПАЛВ*; 13) из потенциально алмазоносных лерцолитов со среднехромистым гранатом – *ПАЛС*; 14) из потенциально алмазоносных лерцолитов с низкохромистым гранатом – *ПАЛН*; 15) из потенциально алмазоносных верлитов – *ПАВ*; 16) из потенциально алмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов – *ПАИРЭ*; 17) из потенциально алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов – *ПАМЖЭ*; 18) из потенциально алмазоносных глиноземистых эклогитов – *ПАГЭ*; 19) из потенциально алмазоносных магнезиальных эклогитов – *ПАМЭ*; 20) из слабоалмазоносных лерцолитов с высокохромистым гранатом – *САЛВ*; 21) из слабоалмазоносных лерцолитов с низкохромистым гранатом – *САЛН*; 22) из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов – *САМЭ*; 23) из слабоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов – *САМЖЭ*; 24) из неалмазоносных лерцолитов и вебстеритов – *НЛВ*; 25) из неалмазоносных ильменитовых верлитов – *НИВ*; 26) из неалмазоносных магнезиальных алькремитов – *НМА*; 27) из неалмазоносных магнезиально-кальциевых алькремитов – *НМКА*; 28) из неалмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов – *НМЖП*; 29) из неалмазоносных гроспидитов – *НГ*; 30) из неалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов – *НМЖЭ*; 31) из неалмазоносных дистеновых эклогитов – *НДЭ*; 32) из неалмазоносных высокожелезистых рутиловых эклогитов – *НРЭ*; 33) из неалмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов – *НИРЭ*; 34) из неалмазоносных гарцбургитов – *НАГ*; 35) из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов – *НГИП*; 36) из неалмазоносных ортопироксенитов – *НОП*; 37) зональные гранаты с включениями хромшпинелидов из неалмазоносных ксенолитов, в том числе верлитов – *НВЗГХ*; 38) зональные гранаты с включениями ильменита из неалмазоносных ксенолитов, в том числе верлитов – *НВЗГИ*; 39) гранат-ильменитовые сростки из неалмазоносных ксенолитов, в том числе верлитов – *НВГИС*; 40) из эклогитоподобных пород – *ЭПП*; 41) из метаморфи-

ческих пород фундамента – *МПФ*.

В табл. 1 впервые приведены в таком соотношении средние составы гранатов по парагенезисам, а на рис. 2 показано положение их фигуративных точек на традиционной диаграмме Н. В. Соболева [11]. По причине высоких содержаний кальция, на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO не нашли место гранаты из алмазоносных (АГ) и неалмазоносных (НГ) гроспидитов, составы которых выпадают за область построения. На рис. 3 приведена дендрограмма кластерного анализа составов гранатов парагенетических групп, которая наглядно демонстрирует соотношения составов парагенезисов между собой.

Из рис. 3 видно, что около половины парагенезисов объединилось в 4 кластерные группы. Первая кластерная группа (I) объединяет исключительно парагенезисы гранатов *П*-типа: *ВАДГ*, *АП*, *ПАЛВ*, *САЛВ* и *АЛА*. Из пяти парагенезисов данной группы три относятся к алмазоносным, один к потенциально алмазоносному (*ПАЛВ*) и один состав – к слабоалмазоносному парагенезису (*САЛВ*). При этом нельзя сказать, что все данные парагенезисы близки по составу. Лишь гранаты из слабоалмазоносных лерцолитов с высокохромистым гранатом (*САЛВ*) [5] и разности из алмазоносных лерцолитов с аномальнохромистым гранатом (*АЛА*) близки на относительно низком уровне связывания (рис. 3). Однако и между данными парагенезисами существуют принципиальные отличия. Гранаты *САЛВ*-парагенезиса по сравнению с *АЛА*-парагенезисом обладают повышенным количеством титана (табл. 1). В свою очередь гранаты *АЛА*-парагенезиса характеризуются более высокой хромистостью – концентрация  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в них, как правило, превышает 10 мас.%. Отличия наблюдаются и по компонентному составу: в гранатах из алмазоносных лерцолитов (*АЛА*) более весома доля уваровитового компонента (в среднем 12,6 %) по сравнению с гранатами *САЛВ*-парагенезиса, которые относятся к алмадин-кноррингит-пиропам (табл. 1). Аномальнохромистые гранаты из алмазоносных лерцолитов были диагностированы в качестве включений в алмазах из тр. Нюрбинская Накынского кимберлитового поля [6, 7]. В пределах Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) гранаты данного парагенезиса наиболее ярко проявлены в ореолах рассеяния Приленского алмазоносного района, в частности в бассейне р. Линде, где содержание хрома в гранатах *АЛА*-парагенезиса достигает 14 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Вторая кластерная группа (II) объединяет всего три парагенезиса – *ПАЛС*, *САМЭ* и *ПАЛН*, из которых два относятся к *П*-типу и один парагенезис к *Э*-типу. Все три данных парагенезиса очень близки по составу на достаточно низком уровне связывания (рис. 3). Схожесть составов отмеченных парагенезисов хорошо видна и по табл. 1, где по большинству оксидов наблюдаются близкие значения. Отмечается лишь более высокое содержание  $\text{TiO}_2$  для гранатов из потенциально алмазоносных лерцолитов с низкохромистым гранатом (*ПАЛН*) и несколько более высокое

Таблица 1

Средние составы гранатов по парагенетическим группам

№ п/п	Парагенезис	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Компонентный состав
1	ВАДГ	41,42	0,11	15,06	11,19	0,29	22,69	2,77	0,02	1,02	5,39	альмандин-кноррингит-пироп
2	ВАМЭ	44,60	0,99	15,18	0,08	0,26	16,01	10,05	0,66	0,00	12,00	андрадит-пироп
3	ВАМЖЭ	40,08	1,00	21,20	0,02	0,32	9,69	9,96	0,22	0,00	17,91	гроссуляр-альмандин-пироп
4	АП	41,56	0,24	17,18	8,47	0,08	22,19	3,44	0,02	1,00	5,97	альмандин-кноррингит-пироп
5	АЛА	40,45	0,18	14,80	10,55	0,47	19,00	6,31	0,05	1,33	6,14	альмандин-уваровит-кноррингит-пироп
6	АИВ	40,62	0,30	20,26	1,71	0,58	17,83	5,76	0,06	2,36	10,45	альмандин-пироп
7	АВ	40,62	0,30	22,05	0,11	0,37	15,53	3,82	0,12	0,95	15,41	альмандин-пироп
8	АМЖП	40,45	0,25	21,82	0,08	0,34	13,13	5,40	0,10	1,14	17,19	гроссуляр-альмандин-пироп
9	АГ	39,15	1,62	20,50	0,14	0,08	2,37	30,55	0,26	0,00	4,57	альмандин-пироп-гроссуляр
10	АМКГЭ	41,5	0,39	22,7	0,19	0,17	15,35	10,27	0,14	0,64	8,93	альмандин-гроссуляр-пироп
11	АМУ	38,67	0,69	20,32	0,06	15,55	5,96	8,82	0,06	2,36	6,97	альмандин-гроссуляр-пироп-спессертин
12	ПАЛВ	41,19	0,13	17,44	8,12	0,36	19,94	5,45	0,02	0,63	6,63	кноррингит-уваровит-альмандин-пироп
13	ПАЛС	41,86	0,08	19,79	5,21	0,31	20,93	5,05	0,02	0,64	6,31	уваровит-альмандин-пироп
14	ПАЛН	42,42	0,32	20,15	4,15	0,30	21,36	4,42	0,02	0,64	6,42	альмандин-пироп
15	ПАВ	40,81	0,42	16,24	8,10	0,30	15,39	12,24	0,05	0,94	4,89	альмандин-уваровит-пироп
16	ПАИРЭ	40,13	0,27	22,05	0,05	0,53	11,22	7,19	0,09	0,00	18,79	гроссуляр-альмандин-пироп
17	ПАМЖЭ	41,66	0,30	22,67	0,10	0,33	16,25	5,38	0,10	0,00	13,55	гроссуляр-альмандин-пироп
18	ПАГЭ	40,58	0,27	22,69	0,09	0,20	11,53	13,59	0,09	0,00	10,84	альмандин-гроссуляр-пироп
19	ПАМЭ	41,24	0,49	22,60	0,50	0,27	21,45	3,81	0,09	0,00	9,31	альмандин-пироп
20	САЛВ	40,89	1,13	14,71	9,34	0,30	19,19	6,62	0,03	1,80	5,79	альмандин-кноррингит-пироп
21	САЛН	41,18	0,72	21,46	1,52	0,21	20,31	4,33	0,05	1,31	8,46	альмандин-пироп
22	САМЭ	42,10	0,14	20,11	4,41	0,38	20,25	5,44	0,04	0,00	7,02	уваровит-альмандин-пироп
23	САМЖЭ	40,95	0,30	21,80	0,32	1,13	13,90	4,81	0,06	0,00	17,27	альмандин-пироп
24	НЛВ	42,06	0,11	21,97	2,19	0,45	19,50	5,16	0,03	0,61	8,74	альмандин-пироп
25	НИВ	40,28	0,82	21,58	0,85	0,38	18,10	7,24	0,06	2,47	8,54	гроссуляр-альмандин-пироп
26	НМА	43,60	0,02	24,02	0,33	0,26	24,51	1,47	0,01	0,16	6,01	альмандин-пироп
27	НМКА	41,70	0,14	23,32	0,30	0,23	15,39	11,14	0,01	0,26	8,14	альмандин-гроссуляр-пироп
28	НМЖП	40,20	0,08	21,94	0,67	0,51	13,55	5,25	0,01	1,29	16,90	гроссуляр-альмандин-пироп
29	НГ	38,77	0,21	21,22	0,02	0,06	2,45	31,13	0,04	0,00	4,92	альмандин-пироп-гроссуляр
30	НМЖЭ	44,28	0,25	20,98	0,08	0,42	14,42	5,93	0,16	0,00	13,38	андрадит-альмандин-пироп
31	НДЭ	40,01	0,17	18,29	4,99	0,13	9,85	16,76	0,00	0,00	9,12	уваровит-альмандин-гроссуляр-пироп
32	НРЭ	37,67	0,24	20,01	0,01	0,55	3,89	8,13	0,03	0,00	28,61	пироп-гроссуляр-альмандин
33	НИРЭ	40,54	0,07	22,89	0,10	0,20	11,56	8,99	0,34	0,00	15,26	гроссуляр-альмандин-пироп
34	НАГ	41,94	1,38	21,04	0,93	0,16	21,11	3,19	0,57	1,89	8,02	альмандин-пироп
35	НИП	41,56	0,28	21,95	1,11	0,24	18,20	4,62	0,41	0,92	10,59	альмандин-пироп
36	НОП	41,31	1,06	20,62	2,15	0,23	18,47	6,00	0,43	1,14	8,74	альмандин-пироп
37	НВЗГХ	39,56	0,52	15,31	8,74	0,62	13,35	10,32	0,06	1,09	9,29	альмандин-уваровит-пироп
38	НВЗГИ	40,63	0,58	19,48	4,07	0,54	13,96	8,68	0,09	0,70	10,76	уваровит-альмандин-пироп
39	НВГИС	41,41	0,41	20,07	2,52	0,28	15,56	8,13	0,01	1,35	10,73	альмандин-пироп
40	ЭПП	41,48	0,02	24,63	0,01	0,02	14,99	7,88	0,03	0,00	11,38	гроссуляр-альмандин-пироп
41	МПФ	37,62	0,01	20,54	0,01	1,14	2,84	0,56	0,04	0,75	36,78	пироп-альмандин

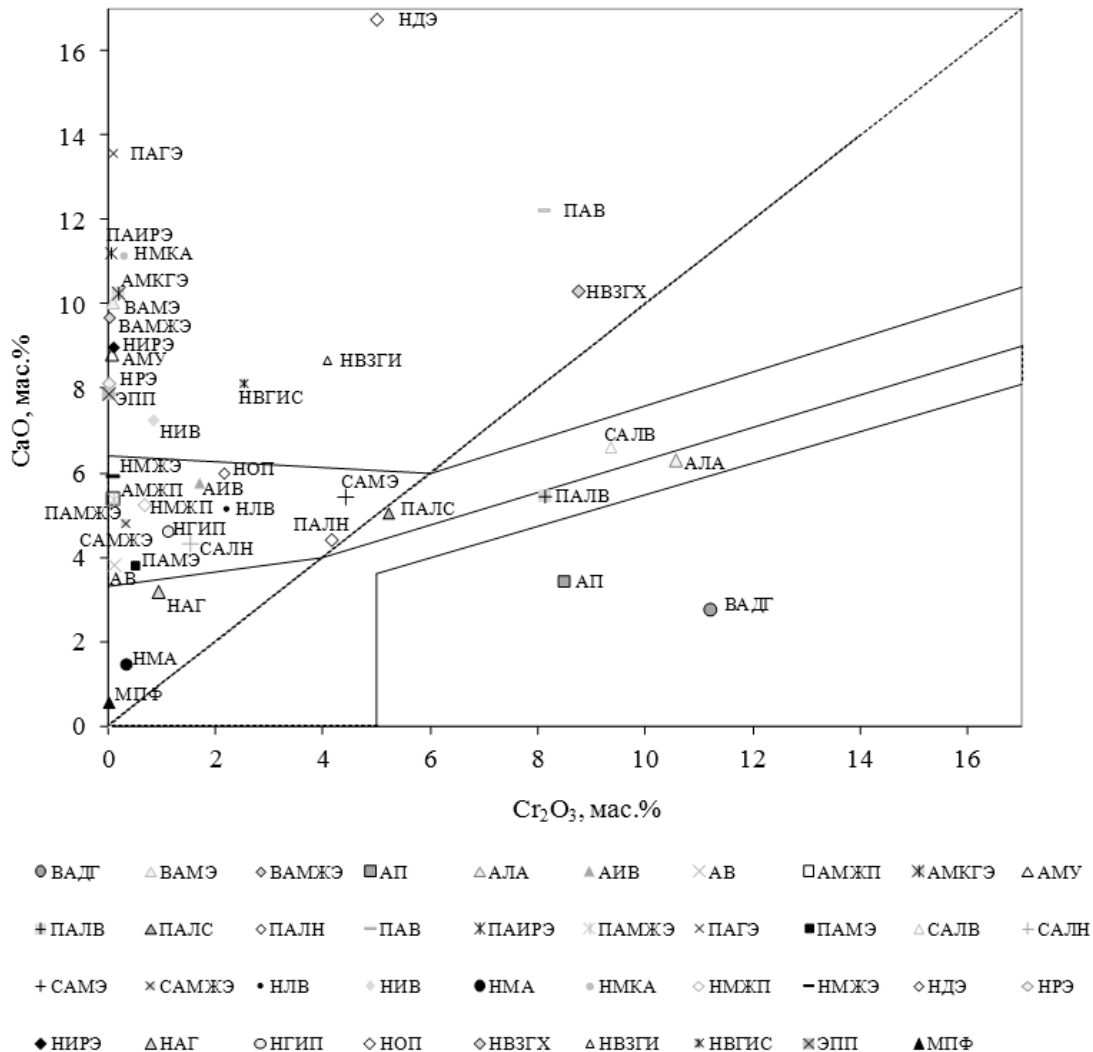


Рис. 2. Положение средних составов парагенетических групп гранатов на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO.

содержание закисного железа при полном отсутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у гранатов из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов (САМЭ). Кроме этого, для гранатов ПАЛС-парагенезиса характерна более высокая хромистость (в среднем 5,21 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) [4, 5]. Два из трех парагенезисов (ПАЛС и САМЭ) по компонентному составу относятся к уваровит-альмандин-пиропам, а гранаты ПАЛН-парагенезиса – к альмандин-пиропам. О близости составов данных парагенезисов свидетельствует и достаточно компактное положение их фигуративных точек на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO в районе диагональной прямой (рис. 2). Примечательно то, что гранаты из слабоалмазоносных магнезиальных эклогитов (САМЭ) на данной диаграмме также расположены в поле лерцолитового тренда. К сожалению, данные по составам этих парагенезисов позаимствованы из опубликованных источников [4, 5] и в нашем распоряжении нет всех исходных анализов, чтобы подвергнуть их более детальному кластерному анализу с целью выделения более узкого диапазона составов для каждого парагенезиса. Все три данных парагенезиса имеют достаточно широкое распростра-

нение как в ореолах рассеяния в пределах ЯАП, так и непосредственно в кимберлитовых телах, в том числе алмазоносных.

Третья кластерная группа (III) более обширная и объединяет 9 парагенезисов (рис. 3), причем не только П-типа и Э-типа, но и переходного (пироксенитового) состава: САЛН, НЛВ, НАГ, ПАМЭ, НОП, НИВ, АИВ, НГИП, ПАМЖЭ. Большинство данных парагенезисов являются неалмазоносными. Один парагенезис из данной кластерной группы относится к слабоалмазоносным (САЛН), два – к потенциально алмазоносным (ПАМЭ, ПАМЖЭ). Один парагенезис из данного набора является алмазоносным и представлен алмазоносными ильменитовыми верлитами (АИВ). Из девяти парагенезисов наиболее близки по составу на достаточно низком уровне связывания гранаты из слабоалмазоносных лерцолитов с низкохромистым гранатом (САЛН) и из неалмазоносных лерцолитов и вебстеритов (НЛВ). Близость составов данных парагенезисов хорошо видна и из табл. 1: по компонентному составу оба парагенезиса представлены альмандин-пиропами. Гранаты САЛН-парагенезиса отличается

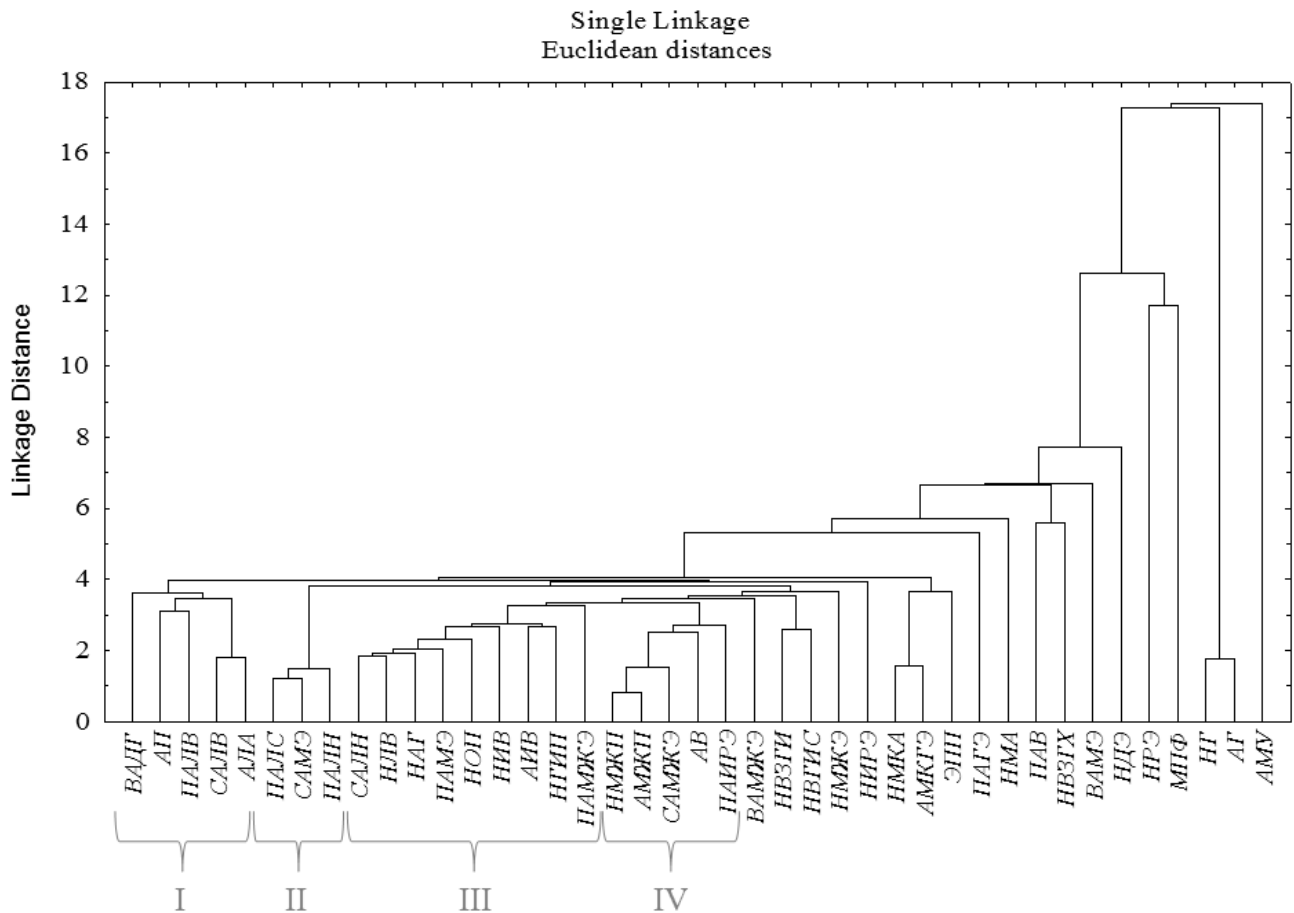


Рис. 3. Результаты кластерного анализа составов гранатов различных парагенетических групп.

от НЛВ-парагенезиса лишь несколько большей титанистостью. На диаграмме  $Cr_2O_3$ -CaO составы данных парагенезисов располагаются в относительной близости друг от друга в низкохромистой области лерцолитового тренда (рис. 2). Данные по средним составам этих парагенезисов также позаимствованы из опубликованных источников [5], поэтому нет возможности подвергнуть их более детальному анализу с использованием современных статистических программных средств. Отметим, что гранаты с составом, подобным гранатам САЛН-парагенезиса, имеют место в кимберлитах из рудника Лихоборн в Лесото, где они присутствуют в виде сростков с алмазами [8]. Разности НЛВ-парагенезиса широко распространены в ореолах рассеяния в пределах ЯАП и составляют весомую долю среди гранатов из неалмазоносных кимберлитов.

Достаточно близкий состав к двум отмеченным выше парагенезисам, как следует из рис. 3, имеют гранаты из неалмазоносных гарцбургитов (НАГ) и из потенциально алмазоносных магнезиальных эклогитов (ПАМЭ). Однако несмотря на то, что гранаты НАГ-парагенезиса по компонентному составу также представлены алмадин-пиропами (табл. 1), данный парагенезис отличается аномально высоким количеством титана ( $>1$  мас.%  $TiO_2$ ). Кроме этого для гранатов НАГ-парагенезиса характерно повышенное содержание  $Na_2O$  (в среднем 0,57 мас.%). На диаграмме

$Cr_2O_3$ -CaO (рис. 2) состав гранатов из неалмазоносных гарцбургитов располагается на значительном удалении от разностей САЛН- и НЛВ-парагенезисов, находясь вне лерцолитового тренда в непосредственной близости от гранатов из потенциально алмазоносных магнезиальных эклогитов (ПАМЭ). В свою очередь гранаты ПАМЭ-парагенезиса характеризуются более низкой хромистостью и повышенным количеством глинозема [5] (табл. 1), что и отличает их от гранатов САЛН-, НЛВ- и НАГ-парагенезисов. Гранаты НАГ-парагенезиса были установлены сотрудниками объединения «Аэрогеология» в неалмазоносных ксенолитах флогопит-гранат-ильменитовых гарцбургитов из некоторых кимберлитовых трубок Бенчимэ-Куойкского поля ЯАП (Слюдянка, Мгришница, Ноябрьская и Поисковая) и их состав был добавлен в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse» в качестве неалмазоносного аналога ВАДГ-парагенезиса. Примечательно, что гранаты из неалмазоносных гарцбургитов (НАГ) на дендрограмме (рис. 3) располагаются в совершенно иной кластерной группе (III) по сравнению с гранатами из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов (I), что свидетельствует об их существенном отличии по составу.

Гранаты из неалмазоносных ортопироксенитов (НОП) отличаются от остальных парагенезисов III кластерной группы более низким количеством магния

(в среднем 18,48 масс.% MgO) и повышенным содержанием СаО (в среднем 6,0 мас.%). По компонентному составу гранаты НОП-парагенезиса представлены альмандин-пиропами (табл. 1) и на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -СаО располагаются на границе лерцолитового и верлитового полей (рис. 2). Гранаты данного состава установлены сотрудниками объединения «Аэрогеология» в ксенолитах неалмазоносных флогопит-гранатильменитовых ортопироксенитов из трубок Слюдянка, Ноябрьская и Поисковая Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля.

Гранаты единственного в III кластерной группе алмазоносного АИВ-парагенезиса (рис. 3), присутствующие в качестве включений в алмазах из тр. Интернациональная Мирнинского поля, характеризуются повышенным количеством суммарного железа (в среднем 12,81 мас.% FeOtot) и высоким содержанием оксида марганца (0,58 мас.% MnO) при одновременно низкой магнезиальности (в среднем 17,83 мас.% MgO). По данным параметрам гранаты АИВ-парагенезиса отличаются от гранатов остальных парагенезисов III кластерной группы. От своего неалмазоносного аналога – гранатов из неалмазоносных ильменитовых верлитов (НИВ), разности АИВ-парагенезиса отличаются более низкими содержаниями титана, кальция и более высокими концентрациями марганца и суммарного железа (табл. 1). К тому же гранаты из алмазоносных ильменитовых верлитов представлены альмандин-пиропами, в то время как для разностей из неалмазоносных ильменитовых верлитов характерны гроссуляр-альмандин-пиропы [5]. На диаграмме Н. В. Соболева (рис. 2) точка состава гранатов АИВ-парагенезиса, благодаря своей пониженной кальциевости, расположена на значительном расстоянии от состава гранатов НИВ-парагенезиса.

Исходя из дендрограммы (рис. 3), разности из неалмазоносных гранат-ильменитовых перидотитов и пироксенитов (НГИП) хотя и близки по составу к гранатам из алмазоносных ильменитовых верлитов (АИВ), однако отличаются от них более низкими содержаниями кальция и марганца при более высоком количестве оксида натрия (табл. 1). Несмотря на высокое содержание натрия (в среднем 0,41 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ), гранаты НГИП-парагенезиса установлены сотрудниками объединения «Аэрогеология» исключительно в неалмазоносных ксенолитах гранатильменитовых перидотитов и пироксенитов из трубок Слюдянка и Ноябрьская Бенчимэ-Куойкское поля. Для данных гранатов, кроме всего прочего, характерно достаточно высокое содержание суммарного железа (в среднем 11,51 мас.%  $\text{FeO}_{\text{tot}}$ ) при одновременно низком содержании хрома (в среднем 1,11 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). В результате на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -СаО (рис. 2) гранаты НГИП-парагенезиса занимают положение в более низкохромистой и низкокальциевой области лерцолитового тренда по сравнению с составом гранатов АИВ-парагенезиса.

Гранаты из потенциально алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (ПАМЖЭ) по уровню

связывания несколько удалены от остальных парагенезисов III кластерной группы (рис. 2). Данный парагенезис характеризуется повышенным содержанием закисного железа (в среднем 13,55 мас.% FeO) при полном отсутствии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (табл. 1). Кроме этого, для него характерны низкие магнезиальность (16,25 мас.% MgO) и хромистость (0,1 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) [5]. По компонентному составу гранаты ПАМЖЭ-парагенезиса относятся к гроссуляр-альмандин-пиропам, в отличие от альмандин-пиропов большинства парагенезисов III кластера. На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -СаО (рис. 2) гранаты данного парагенезиса располагаются в низкохромистой области лерцолитового поля вдоль оси кальция. При этом точка среднего состава данного парагенезиса перекрывается с составом гранатов из алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов (АМЖП), имеющих близкие параметры по хрому и кальцию. Несмотря на данное сходство, гранаты АМЖП-парагенезиса отличаются более низкой магнезиальностью (в среднем 13,13 мас.% MgO) и большей железиальностью (в среднем 18,33 мас.% FeO) от разностей из потенциально алмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (табл. 1). Гранаты АМЖП-парагенезиса присутствуют в качестве включений в алмазах из тр. Нюрбинская, Интернациональная и Юбилейная.

Четвертая кластерная группа объединяет всего 5 парагенезисов (рис. 3), из которых два относятся к алмазоносным (АВ и АМЖП), один к потенциально алмазоносным (ПАИРЭ), один к слабоалмазоносным (САМЖЭ) и еще один состав соотносится с неалмазоносным парагенезисом (НМЖП). Гранаты данной кластерной группы представлены исключительно разностями пироксенит-эклогитового ряда. Наиболее близкий состав на достаточно низком уровне связывания имеют гранаты из неалмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов (НМЖП) [5] и их алмазоносные аналоги (АМЖП). Для обоих парагенезисов характерно повышенное количество железа, превышающее 18 мас.%  $\text{FeO}_{\text{tot}}$ , при низком содержании магния: в среднем 13,13 мас.% MgO для АМЖП-парагенезиса и 13,55 мас.% MgO для неалмазоносных разностей НМЖП-парагенезиса (табл. 1). По компонентному составу оба парагенезиса относятся к гроссуляр-альмандин-пиропам. Гранаты из алмазоносных магнезиально-железистых пироксенитов отличаются от своего неалмазоносного аналога более высокой примесью титана (0,25 мас.% против 0,08 мас.%  $\text{TiO}_2$ ), пониженными содержаниями хрома (0,08 мас.% против 0,67 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и марганца (0,34 мас.% против 0,51 мас.% MnO). Кроме того, гранаты АМЖП-парагенезиса обладают более высоким содержанием оксида натрия (в среднем 0,1 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ) по сравнению с неалмазоносным аналогом (0,01 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ). На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -СаО гранаты АМЖП- и НМЖП-парагенезисов располагаются в непосредственной близости друг от друга в низкохромистой области лерцолитового поля, вблизи от оси кальция (рис. 2). Несмотря на близость состава гранатов из алмазоносных магнезиально-железистых

пироксенитов к своему неалмазоносному аналогу, данный состав был внесен в эталонную базу программы в качестве самостоятельного парагенезиса. Гранаты АМЖП-парагенезиса присутствуют в качестве включений в алмазах из кимберлитовых трубок Нюрбинская, Интернациональная и Юбилейная ЯАП.

К гранатам АМЖП- и НМЖП-парагенезисов на более высоком уровне связывания (рис. 3) близки гранаты из слабоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (САМЖЭ). По компонентному составу гранаты САМЖЭ-парагенезиса также относятся к алмаздин-пиропам и содержат невысокие количества хрома (в среднем 0,32 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и магния (13,9 мас.%  $\text{MgO}$ ) при повышенном содержании общего железа (17,27 мас.%  $\text{FeOtot}$ ) [5]. Однако отличительной особенностью гранатов из слабоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов является повышенное содержание марганца, превышающее 1 мас.%  $\text{MnO}$ , и полное отсутствие в составе окисного железа (табл. 1). На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$  гранаты из слабоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов располагаются вблизи от гранатов АМЖП- и НМЖП-парагенезисов в низкохромистой области лерцолитового тренда (рис. 2).

Гранаты из алмазоносных вебстеритов (АВ) представлены высокожелезистыми (в среднем 16,36 мас.%  $\text{FeOtot}$ ), низкохромистыми (в среднем 0,11 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и низкомагнезиальными (в среднем 15,53 мас.%  $\text{MgO}$ ) разностями (табл. 1) при достаточно высоком содержании оксида натрия (в среднем 0,12 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ). Гранаты данного алмазоносного парагенезиса отличаются от близкого по составу САМЖЭ-парагенезиса (рис. 3) более низкими содержаниями хрома, марганца и железа и более высокими концентрациями глинозема, магния и натрия (табл. 1). В свою очередь, от относительно близких по составу гранатов ПАИРЭ-парагенезиса [5] этой же кластерной группы (IV), АВ-парагенезис отличается более высоким количеством магния (в среднем 15,53 мас.% против 11,22 мас.%  $\text{MgO}$ ) и более низкими параметрами по кальцию (в среднем 3,82 мас.% против 7,19 мас.%  $\text{CaO}$ ) и железу (в среднем 16,36 мас.% против 18,79 мас.%  $\text{FeOtot}$ ). Гранаты АВ-парагенезиса по компонентному составу относятся к алмаздин-пиропам (табл. 1), в отличие от гроссуляр-алмаздин-пиропов ПАИРЭ- и САМЖЭ-парагенезисов. На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$  гранаты из алмазоносных вебстеритов располагаются в низкохромистой области лерцолитового тренда вдоль оси кальция (рис. 2), в непосредственной близости от гранатов ПАМЭ-парагенезиса. Составы гранатов АВ-парагенезиса были обнаружены в качестве включений в алмазах из тр. Нюрбинская Накынского кимберлитового поля [6, 7].

Остальные парагенезисы гранатов не образуют обособленных кластерных групп (рис. 3). Среди этих «самостоятельных» парагенезисов на относительно незначительном уровне связывания от I-IV кластерных групп располагаются восемь парагенезисов: ВАМЖЭ, НВЗГИ, НВГИС, НМЖЭ, НИРЭ, НМКА,

АМКГЭ и ЭПП. Гранаты из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (ВАМЖЭ), помимо аномально низкой хромистости (в среднем 0,02 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), характеризуются высокой концентрацией титана (в среднем 1,0 мас.%  $\text{TiO}_2$ ), железа (в среднем 17,91 мас.%  $\text{FeOtot}$ ) и кальция (в среднем 9,96 мас.%  $\text{CaO}$ ) при одновременно низком количестве магния (в среднем 9,69 мас.%  $\text{MgO}$ ). Кроме этого гранаты ВАМЖЭ-парагенезиса обладают повышенным содержанием натрия (в среднем 0,22 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ), что отличает их от неалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (НМЖЭ), обладающих более низкими параметрами по натрию (в среднем 0,01 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ), титану и кальцию (табл. 1) при более высоких количествах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$  [5]. По компонентному составу гранаты ВАМЖЭ-парагенезиса представлены гроссуляр-алмаздин-пиропами, в то время как разности НМЖЭ-парагенезиса относятся к андрадит-алмаздин-пиропам. На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$  точки составов данных парагенезисов значительно разобцены, располагаясь в низкохромистой области вдоль оси кальция (рис. 2).

Среди отмеченных выше восьми парагенезисов наиболее близки по составу гранаты из алмазоносных магнезиальных кальциево-глиноземистых эклогитов (АМКГЭ) и из неалмазоносных магнезиально-кальциевых алькремитов (НМКА) [5] (рис. 3). Значительное сходство данных парагенезисов хорошо видно и по их средним составам (табл. 1): оба данных парагенезиса представлены высококальциевыми низкохромистыми алмаздин-гроссуляр-пиропами. Однако отличительной особенностью гранатов АМКГЭ-парагенезиса является более высокое содержание натрия, суммарного железа и титана (табл. 1). Несмотря на то, что высокие концентрации гроссуляра в гранатах является характерной чертой для всех кальциево-глиноземистых эклогитов, содержание гроссулярового минала в гранатах АМКГЭ-парагенезиса более низкое (в среднем 23,7 мол.%) по сравнению с гранатами НМКА-парагенезиса (в среднем 27,0 мол.%). Гранаты АМКГЭ-парагенезиса присутствуют в качестве включений в алмазах из тр. Нюрбинская. На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$  точки составов гранатов АМКГЭ- и НМКА-парагенезисов располагаются в относительной близости друг от друга в низкохромистой высококальциевой области (рис. 2).

Среди других парагенезисов, имеющих схожий состав и не входящих ни в одну кластерную группу (рис. 3), следует отметить гранаты НВЗГИ- и НВГИС-парагенезисов. В то же время зональные гранаты НВЗГИ-парагенезиса в отличие от гранат-ильменитовых сростков характеризуются более высокими содержаниями хрома и марганца при более низком количестве магния [5] (табл. 1). По компонентному составу гранаты НВЗГИ-парагенезиса относятся к уваровит-алмаздин-пиропам, тогда как гранаты НВГИС-парагенезиса – к алмаздин-пиропам. На диаграмме Н. В. Соболева (рис. 2) оба данных парагенезиса располагаются в поле верлитовых разностей на незначи-



тельном удалении друг от друга.

Гранаты из эклогитоподобных пород (ЭПП) [5] и неалмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов (НИРЭ) существенно отличаются по составу как друг от друга, так и от остальных парагенезисов (рис. 3). Несмотря на то, что по компонентному составу оба данных парагенезиса относятся к гроссуляр-альмандин-пиропам (табл. 1), гранаты НИРЭ-парагенезиса по сравнению с разностями ЭПП-парагенезиса обладают более высокими содержаниями хрома (в среднем 0,1 мас.% против 0,01 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и железа (в среднем 15,26 мас.% против 11,38 мас.%  $\text{FeO}$ ) при одновременно более низкой концентрации магния (в среднем 11,56 мас.% против 14,99 мас.%  $\text{MgO}$ ). На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO точки составов данных парагенезисов расположены вдоль оси кальция в области высоких значений данного оксида, на незначительном удалении друг от друга (рис. 2). Гранаты из неалмазоносных ильменит-рутиловых эклогитов установлены сотрудниками объединения «Аэрогеология» в качестве включений в ксенолитах аналогичных пород из трубок Нюрба и Мгришница Бенчимэ-Куойкского поля.

Гранаты НРЭ-парагенезиса [5] отстоят на значительном уровне связывания не только от гранатов НИРЭ-парагенезиса, но и от всех остальных (рис. 3). Гранаты из неалмазоносных рутиловых эклогитов в отличие от разностей НИРЭ-парагенезиса обладают значительно более высокими параметрами по железу (в среднем 28,61 мас.% против 15,26 мас.%  $\text{FeO}$ ), титану и марганцу при более низком содержании  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и, особенно,  $\text{MgO}$  (в среднем 3,89 мас.% против 11,56 мас.%). По компонентному составу гранаты НИРЭ-парагенезиса относятся к гроссуляр-альмандин-пиропам, тогда как разности НРЭ-парагенезиса к пироп-гроссуляр-альмандинам (табл. 1). На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO состав гранатов НРЭ-парагенезиса располагается вдоль оси кальция в области высоких значений (рис. 2), в непосредственной близости от состава гранатов из ксенолитов эклогитоподобных пород (ЭПП).

Все остальные парагенезисы кардинально отличаются по составу от охарактеризованных выше, располагаясь на значительном уровне связывания, в том числе друг от друга (рис. 3). Исключение составляют лишь гранаты из алмазоносных гроспидитов (АГ) и их неалмазоносный аналог (НГ), которые при существенном отличии от других парагенезисов, близки между собой. Отличительной особенностью гранатов данных парагенезисов является аномально высокое содержание оксида кальция, превышающее 30 мас.% (табл. 1), при аномально низких количествах магния (в пределах 2,37–2,45 мас.%  $\text{MgO}$ ) и железа (4,57–4,92 мас.%  $\text{FeO}$ ) [5]. Однако гранаты АГ-парагенезиса отличаются от разностей из неалмазоносных гроспидитов повышенным содержанием титана (в среднем 1,62 мас.% против 0,21 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) и натрия (в среднем 0,26 мас.% против 0,04 мас.%  $\text{Na}_2\text{O}$ ), а также более высоким количеством хрома (в среднем 0,14 мас.% против 0,02 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). По компонентному составу

гранаты обоих парагенезисов относятся к альмандин-пироп-гроссулярам. Из-за высоких содержаний кальция составы гранатов из гроспидитов не нашли место на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO (рис. 2).

Наибольшим отличием по составу среди всех парагенезисов (рис. 3) обладают гранаты из метаморфических пород фундамента (МПФ) и из алмазоносных метаморфизованных ультрамафитов (АМУ) типа коматиитов. Гранаты из метаморфических пород фундамента относятся к пироп-альмандинам и характеризуются повышенным содержанием общего железа, превышающего 30 мас.%  $\text{FeO}_{\text{tot}}$ , при низких параметрах кальция (в среднем 0,56 мас.%  $\text{CaO}$ ) и почти полном отсутствии хрома (в среднем 0,01 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Из-за низких содержаний кальция и хрома, точка их состава на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO расположена в левом нижнем углу на оси кальция, что не характерно более ни для одного парагенезиса (рис. 2). В относительной близости от гранатов из метаморфических пород фундамента на данной диаграмме располагаются лишь гранаты из неалмазоносных магнезиальных алькремитов (НМА), также обладающие низкими параметрами по хрому и кальцию. Однако в гранатах НМА-парагенезиса несколько более высокие содержания хрома (в среднем 0,33 мас.% против 0,01 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и кальция (в среднем 1,47 мас.% против 0,56 мас.%  $\text{CaO}$ ) [5]. Кроме этого, гранаты НМА-парагенезиса обладают более низким содержанием железа (в среднем 8,4 мас.%  $\text{FeO}_{\text{tot}}$ ) и повышенными глинозема (в среднем 24,02 мас.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и магния (в среднем 24,51 мас.%  $\text{MgO}$ ) (табл. 1). Гранаты из метаморфики пользуются широким распространением как в древних, так и в современных ореолах рассеяния. Имеют место они и непосредственно в кимберлитах в качестве ксеногенного материала, причем нередко в достаточно высоких концентрациях (тр. Флогопитовая, Мерчимдэнское поле).

Гранаты АМУ-парагенезиса характеризуются аномально высоким содержанием марганца (в среднем 15,55 мас.%  $\text{MnO}$ ) и по компонентному составу относятся к альмандин-гроссуляр-пироп-спессартинам (табл. 1). Кроме этого, для гранатов данного парагенезиса характерны низкие содержания хрома (в среднем 0,06 мас.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) и магния (в среднем 5,96 мас.%  $\text{MgO}$ ) при достаточно высокой кальциевости (в среднем 8,82 мас.%  $\text{CaO}$ ). На диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -CaO точка составов гранатов АМУ-парагенезиса расположена в низкохромистой высококальциевой области, характерной для разностей Э-типа, практически перекрываясь с гранатами НИРЭ-парагенезиса (рис. 2). Гранаты с подобным составом были встречены в виде включений в алмазах из метаморфизованных пирокластических ультрамафитов Французкой Гвианы раннепротерозойского возраста [9]. Породы, содержащие алмазы с включениями аномальномарганцовистого граната-спессартина, не относятся ни к типичным кимберлитам, ни к лампроитам, а описаны как коматииты (пикритовые шошониты, лампрофиры). Присутствие совместно с гранат-спессартином в каче-

стве включений в алмазах омфациита и сульфидов (низконикелевого пирротина), свидетельствует в пользу эклогитового парагенезиса данных алмазов. Несмотря на то, что алмазы с включениями гранатов АМУ-парагенезиса встречены в породах, не являющихся типичными кимберлитами, все же данный состав был внесен в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse» в качестве самостоятельного парагенезиса. Не исключено, что гранаты подобного состава могут иметь место в ореолах рассеяния в пределах ЯАП, особенно в ее окраинных частях, и быть связанными с нетрадиционными источниками. Гранаты-спессартини с похожим составом, только с более высоким содержанием марганца (до 27,26 мас.% MnO), были встречены в аллювии ряда водотоков по северо-западному борту Вилюйской синеклизы (рр. Тюнг, Хахчан).

Гранаты из потенциально алмазоносных глиноземистых эклогитов (ПАГЭ) отличаются пониженной магнезиальностью (в среднем 11,53 мас.% MgO) и высокой концентрацией CaO (в среднем 13,59 мас.%) при характерных для гранатов Э-типа низкой хромистости (в среднем 0,09 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и высокой железистости (в среднем 10,84 мас.% FeO) [5]. Кроме этого гранаты ПАГЭ-парагенезиса обладают повышенным содержанием Na<sub>2</sub>O, составляющего в среднем 0,09 мас.% (табл. 1). По компонентному составу это альмандин-гроссуляр-пиропы, на диаграмме Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO их состав расположен вдоль оси кальция в области высоких значений, на значительном удалении от остальных парагенезисов (рис. 2).

Для гранатов из потенциально алмазоносных верлитов (ПАВ) характерны высокие содержания хрома (в среднем 8,10 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и кальция (в среднем 12,24 мас.% CaO) при низкой концентрации железа (в среднем 5,83 мас.% FeO<sub>tot</sub>) [5]. По компонентному составу данный парагенезис относится к альмандин-уваровит-пиропам и на диаграмме Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO он занимает индивидуальное положение в области высоких значений хрома и кальция (рис. 2).

Несколько схожий состав с гранатами ПАВ-парагенезиса, хотя и на достаточно удаленном уровне связывания (рис. 3), имеют зональные гранаты НВЗГХ-парагенезиса. По компонентному составу оба данных парагенезиса представлены альмандин-уваровит-пиропами (табл. 1), однако разности НВЗГХ-парагенезиса характеризуются более высоким содержанием общего железа (в среднем 10,38 мас.% против 5,83 мас.% FeO<sub>tot</sub>) и более низким содержанием кальция (в среднем 10,32 мас.% против 12,24 мас.% CaO) [5]. На диаграмме Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO зональные гранаты с включениями хромшпинелидов из неалмазоносных ксенолитов располагаются в относительной близости от гранатов ПАВ-парагенезиса (рис. 2).

Для гранатов из высокоалмазоносных магнезиальных эклогитов (ВАМЭ), помимо пониженной хромистости и высокой титанистости (табл. 1), характерны повышенные содержания железа (в среднем 12,0 мас.% FeO<sub>tot</sub>) и кальция (в среднем 10,05 мас.% CaO)

[5] при наиболее высоком по сравнению со всеми остальными парагенезисами содержании натрия (в среднем 0,66 мас.% Na<sub>2</sub>O). От гранатов из высокоалмазоносных магнезиально-железистых эклогитов (ВАМЖЭ) гранаты ВАМЭ-парагенезиса отличаются более низкой железистостью и более высоким содержанием магния (в среднем 16,01 мас.% против 9,69 мас.% MgO). Кроме этого по компонентному составу гранаты ВАМЭ-парагенезиса относятся к андрадит-пиропам, в то время как разности ВАМЖЭ-парагенезиса представлены гроссуляр-альмандин-пиропами (табл. 1). На диаграмме Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO составы обоих парагенезисов расположены вдоль оси кальция в непосредственной близости друг от друга, в области высоких значений CaO (рис. 2).

Гранаты из неалмазоносных дистеновых эклогитов (НДЭ) характеризуются умеренным количеством железа (в среднем 9,12 мас.% FeO<sub>tot</sub>), высокими содержаниями хрома (в среднем 4,99 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и кальция (в среднем 16,76 мас.% CaO) при низкой концентрации магния (в среднем 9,85 мас.% MgO) [5] (табл. 1). По компонентному составу это уваровит-альмандин-гроссуляр-пиропы и на диаграмме Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO они занимают индивидуальное положение в верхней части графика, в области высоких значений кальция на значительном удалении от остальных парагенезисов (рис. 2).

### Закключение

Несмотря на, казалось бы, большое количество выделенных парагенезисов среди гранатов, приведенный выше набор не охватывает всего разнообразия составов данного минерала из кимберлитовых пород и россыпей, связанных с ними. Среди выделенного на данный момент 41 парагенезиса не нашли места высокохромистые и высококальциевые гранаты с повышенным содержанием уваровитового и андрадитового миналов, попадающие на диаграмме Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO в правый верхний угол. Это, как правило, зеленые пиропы верлитового парагенезиса, источники которых могут быть как алмазоносными, так и неалмазоносными. Не учтены и некоторые другие составы, которые отсутствуют на данный момент в нашем распоряжении. Тем не менее, приведенный набор парагенезисов на сегодня наиболее полно отражает парагенетическое разнообразие гранатов из кимберлитов. Выделенные парагенезисы позволяют судить о глубинных источниках гранатов из кимберлитов и могут быть использованы для оценки потенциальной алмазоносности конкретных тел. Применение программы «MineralogicalAnalyse» на объектах деятельности Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» оказало неоценимую помощь при прогнозной оценке и ранжировании территорий по степени перспективности, что существенно повысило качество алмазопоисковых работ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хмельков, А. М. Совершенствование методов прогнозирования при алмазопоисковых работах на основе современ-

- ных технологий обработки и разделения составов кимберлитовых минералов на парагенезисы / А. М. Хмельков, А. В. Гриценко, Э. А. Хмелькова // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: матер. Международной научной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. С. 546–550.
2. Хмельков, А. М. Разделение составов кимберлитовых минералов на парагенезисы с использованием современных технологий / А. М. Хмельков, А. В. Гриценко // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии: матер. IV Региональной научно-практической конференции. – Мирный, 2014. – С. 241–244.
  3. Доусон, Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них / Дж. Доусон. – М., Мир, 1983. – 300 с.
  4. Включения в алмазе и алмазоносные породы / В. К. Ггаринин [и др.]. – М., Из-во МГУ, 1991. – 240 с.
  5. Новые технологии разведки алмазных месторождений / В. В. Кротков [и др.]. – М., ГЕОС, 2001. – 310 с.
  6. Diamondiferous xenoliths from crustal subduction: garnet

- oxygen isotopes from the Nyurbinskaya pipe, Yakutia / Z. V. Spetsius [et al.] // Eur. Jour. Mineral. – 2008. – N. 20. – P. 375–385.
7. Diamondiferous microxenoliths and xenocrysts from the Nyurbinskaya kimberlite pipe, Yakutia / V. Malkovets [et al.] // 9-th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 9IKC-A-00224, 2008.
  8. O'Brien, H. E. Diamondiferous megacrystal garnet and orthopyroxene from Liqhobong, Lesotho / H. E. O'Brien, A. C. Birnie, R. G. Spencer // 10-th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 10IKC-229, 2012.
  9. Origin of diamonds from the Dachine ultramafic, French Guyana / C. B. Smith [et al.] // 10-th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 10IKC-97, 2012.
  10. Smith, C. B. Diamonds from Capibary, Paraguay / C. B. Smith, G. P. Bulanova, J. L. B. Presser // 10-th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 10IKC-36, 2012.
  11. Соболев, Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Н. В. Соболев. – Новосибирск, Наука, 1974. – 263 с.

Республика Мордовия, г. Саранск

Хмельков Александр Михайлович, ветеран АК «АЛРОСА» (ПАО), кандидат геолого-минералогических наук  
E-mail: st\_56@mail.ru  
Тел.: 8 937 670 21 79

АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилюйская геологоразведочная экспедиция, Республика Саха (Якутия), п. Айхал  
Власова Эльвира Александровна, геолог II категории.  
E-mail: KulaninaEA@alrosa.ru  
Тел.: 8 924 461 09 23

Republic of Mordovia, Saransk

Khmelkov A. M., veteran of ALROSA (PJSC), candidate of Geologic and Mineralogical Sciences  
E-mail: st\_56@mail.ru  
Тел.: 8 937 670 21 79

ALROSA (PJSC), Vilyuiskaya geological expedition, Sakha (Yakutia) Republic, Aikhal  
Vlasova E. A., geologist II category  
E-mail: KulaninaEA@alrosa.ru  
Тел.: 8 924 461 09 23