

С. И. КОСТРОВИЦКИЙ, Н. В. АЛЫМОВА, Д. А. ЯКОВЛЕВ (Ин-т геохимии СО РАН),  
В. П. СЕРОВ (АК «АЛРОСА»), С. С. МАЦЮК (Ин-т минералогии, Киев)

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ПАСПОРТА КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК КАК МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ

На основе изучения состава минералов-спутников из кимберлитов проведена паспортизация большинства трубок Далдынского поля, а также нескольких ореольных участков, расположенных в его межтрубочном пространстве. Обсуждаются методические основы паспортизации, проблемы, возникающие при составлении паспортов, а также основные результаты сравнительного анализа минералогических паспортов трубок в пределах поля. Показано, что пикроильменит из разных трубок одного куста характеризуется близкими значениями разных параметров состава, в то время как ильменит из разных кустов имеет значимые отличия по одному из параметров. Таким образом, усредненный состав ильменита, определенный по представительному числу зерен из кимберлитового тела, является инвариантной величиной и может служить в качестве критерия принадлежности этого тела к определенному кусту трубок. Демонстрируются возможности обнаружения новых трубок, открывающиеся при анализе ореольных данных по составу минералов-спутников благодаря использованию паспортной информации по известным трубкам. Указывается на высокую научную информативность общей паспортизации трубок в пределах кимберлитового поля.

From the studies of the composition of mineral-satellites from kimberlites the authors summarized the data on the majority of pipes of the Daldyn field as well as some halo sites, located in the space between pipes. The methodological grounds of summarizing, problems arising from passport compiling are discussed. The main results of the comparative analysis of mineralogical passports of pipes occurring within the field are given. The picroilmenite from different pipes of the same pocket is shown to be marked by similar values of different parameters of the composition, while ilmenite from different pockets has significant differences of one of parameters. Thus, the averaged composition of the ilmenite of the representative number of grains from kimberlitic body is an invariant value and can serve as a criterion of belonging of this body to a certain pocket of pipes. Possibilities to discover new pipes from the analysis of the composition of mineral-satellites of the haloes owing to the passport information on available pipes are shown. A high volume of the scientific information of the general summarizing of pipes within the kimberlite field is pointed out.

Шлихоминералогический метод поисков по минералам-спутникам является одним из основных методов обнаружения кимберлитовых трубок: оценки степени близости изучаемого ореола к коренному источнику, а также предварительной оценки уровня алмазонасности предполагаемого источника. В начальной стадии изучения территории с проявлениями кимберлитового вулканизма эти задачи решались вполне удовлетворительно без привлечения уже известной информации о составе минералов-спутников ранее открытых кимберлитовых трубок. Принципиально иная ситуация существует в настоящее время, когда большинство кимберлитовых тел в пределах **известных** кимберлитовых полей уже открыто. Перед исследователями неизбежно встает вопрос: А не принадлежат ли изучаемые ореолы уже к обнаруженным ранее кимберлитовым трубкам? Если ореол находится вне площади известных кимберлитовых полей, то вопрос формулируется уже более широко — об отношении ореола к известному или

новому полю. Понятно, что ответ может быть дан только при наличии базы данных об индивидуальных характеристиках состава минералов-спутников из всех известных кимберлитовых тел, что собственно и является задачей минералогической паспортизации. Однако следует признать, что несмотря на большое число выполненных работ по изучению состава минералов-спутников из кимберлитовых трубок, систематические данные по их паспортизации отсутствуют. Более того, отсутствует общепринятый подход к методическим основам такой минералогической паспортизации трубок. Рассмотрим один из вариантов решения проблемы паспортизации.

### Методические основы паспортизации

В минералогический паспорт (портрет) трубки, куста трубок, поля трубок, ореола рассеивания спутников авторы вкладывают понятие индивидуализированной характеристики состава минера-

лов-спутников соответствующих кимберлитовых тел, групп тел или вторичных ореолов их рассеивания, которая дается с помощью графиков и таблиц. Предполагается, что паспорт с максимальной полнотой отражает основные статистические показатели распределения состава того или иного минерала-спутника и является устойчивой, присущей только данному объекту характеристикой.

Задача создания минералогического паспорта (портрета) кимберлитов для определенной трубки может быть решена разными способами, которые прежде всего зависят от принятой исследователем классификационной схемы разделения того или иного минерала. Для минералов-спутников алмаза, в частности для граната, разработаны на основе кластерного анализа разные классификации. Однако, на наш взгляд, большинство таких классификаций [1, 4, 9] носит, с одной стороны, несколько субъективный характер, а с другой, они недостаточно формализованы для компьютерного использования. Субъективность проявляется в следующем. Дело в том, что классификация, основанная на кластерном анализе, зависит от той частной выборки анализов, которая была использована автором. Разные авторы — разные выборки и разные классификационные схемы. Отсутствие у разных исследователей единого подхода к выделению разновидностей мантийных ксенолитов делает практически невозможным использование литературных данных для классификаций. Недостаток формализации выражается в том, что приведенные авторами классификаций диапазоны составов разных генетических групп граната, как правило, очень широки и нередко перекрывают друг друга.

Безусловно, выбор способа создания «портрета» (т. е. использования определенной классификации минерала) напрямую зависит от целей, которые ставит перед собой исследователь. Наша задача — найти такие параметры состава минерала, которые надежно указывали бы на принадлежность изучаемого минерала к определенному трубчатому телу и чтобы с их помощью легко было производить сравнительный анализ минеральных выборок из разных трубок и ореолов. Дополнительные требования к принимаемой классификации — простота использования и воспроизводимость полученных результатов. В качестве простейших параметров для классифицирования гранатов нами приняты:

1) содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 2) содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ .

Использование данных параметров традиционно, оно широко применяется в геологической практике.

По содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  гранаты разделены на четыре группы:

1)  $0 > \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 0,2\%$ ; 2)  $0,2 > \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 2,0 \%$ ; 3)  $2,0 > \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 5,0 \%$ ; 4)  $> 5,0 \%$ .

Деление гранатов в координатах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$  проводится нами на основе известной двойной диаграммы Н. В. Соболева [8], на которой выделены следующие парагенетические группы гранатов:

1) эклогитовый; 2) эклогитоподобный, коровый; 3) дунит-гарцбургитовый, низкохромистый; 4) дунит-гарцбургитовый, высокохромистый; 5) пироксенит-вебстеритовый; 6) лерцолитовый, среднехромистый; 7) лерцолитовый, высокохромистый; 8) верлитовый; 9) дунит-гарцбургитовый, алмазоносный.

Поля состава гранатов данных групп жестко закреплены параметрами линий, проведенных исследователями для разграничения дунит-гарцбургитового, лерцолитового и верлитового парагенезисов. Используются следующие формулы для полей соответствующих парагенетических групп на графике  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ — $\text{CaO}$  (примем  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  за  $x$ ,  $\text{CaO}$  за  $y$ ):

1)  $x \leq 0,2$ ;  $y \leq 7$ ; 2)  $x \leq 0,2$ ;  $y > 7$ ; 3)  $x \leq 4$ ;  $y \leq 0,125 \times x + 3,5$ ; 4)  $x > 4$ ;  $y \leq 0,4 \times x + 2,4$ ; 5)  $x \leq 4$ ;  $y \leq -0,083 \times x + 6,5$ ; 6)  $4 < x \leq 5$ ;  $y \leq -0,083 \times x + 6,5$ ; 7)  $5 < x \leq 6$ ;  $y \leq 0,4 \times x + 3,6$ ; 8)  $x > 6$ ;  $y \leq 0,4 \times x + 3,6$ ; 9)  $x > 5$ ;  $y \leq 0,38 \times x + 1,6$ .

Наряду с гранатами явно ксеногенного происхождения (из верхней мантии и коры), в кимберлитах находятся мегакристные вкрапленники (желваки) гранатов оранжево-красного цвета, которые предположительно образовались как фенокристаллы. Как показали исследования [5], мегакристный гранат, принадлежащий к железо-титанистой ассоциации, характеризуется определенным составом. Выделение данной разновидности гранатов в общей совокупности анализов дополняет минералогический портрет того или иного таксона. Выделение анализов, соответствующих гранатам мегакристной ассоциации, производилось для составов, удовлетворяющих следующим условиям:

$\text{TiO}_2 > 0,45$ ;  $0,35 < \text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 4,8$ ;  $3,35 < \text{CaO} \leq 4,8$ ;  $6,8 < \text{FeO} \leq 10,2$ .

Отметим, что в кимберлитах некоторых трубок и даже кустов трубок отсутствует оранжево-красный мегакристный гранат. Само отсутствие данной разновидности граната не случайно, оно характеризует специфические условия формирования вмещающего кимберлита и поэтому является важным штрихом минералогического облика соответствующей трубки.

В графическом виде минералогический «гранатовый портрет» представлен цветной круговой диаграммой, демонстрирующей соотношения выборок граната с разным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и двойной диаграммой Н. В. Соболева в координатах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ .

Пикроильменит широко варьирует по составу, что связано преимущественно с его кристаллизацией непосредственно из кимберлитового расплава. Наиболее показательными параметрами изменчивости состава пикроильменита являются содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$ , а также такие отношения, как магнезиальность ( $\text{Mg}\# = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}) \times 100$ ) и степень окисленности железа ( $\text{COЖ} = \text{Fe}^{+3}/(\text{Fe}^{+3} + \text{Fe}^{+2}) \times 100$ ). По этим параметрам составлена таблица, которая и используется для паспортизации кимберлитовых трубок и

других объектов. Из графических средств для создания паспорта наиболее наглядны и информативны гистограммы распределения  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{MgO}$ . Гистограммы распределения этих окислов могут быть одно-, двух- и трехмодальными. Важную информацию несут интервалы вариаций содержания указанных окислов, соответствующие каждому из пиков гистограммы. Для создания минералогического портрета по пикроильмениту дополнительно использованы корреляционный график  $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ , а также тройная диаграмма  $\text{MgTiO}_3-\text{FeTiO}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3$ , с помощью которых демонстрируются тренды кристаллизации.

Чрезвычайно важен для паспортизации трубок вопрос представительности анализов того или иного минерала. Как показали наши исследования, необходимое и достаточное число зерен для паспортизации по пикроильмениту не превышает 100. Выдержанность состава пикроильменита в пределах не только одного кимберлитового тела, но и в пределах куста трубок, независимость состава ильменита от фаз внедрения, от глубины изучаемого среза трубки обуславливают такую относительно низкую цифру необходимого числа анализов. В отличие от пикроильменита гранат характеризуется чрезвычайной невыдержанностью состава даже в отдельных кустах трубок, и тем более в Далдынском поле в целом. Наши материалы не позволяют судить о степени неравномерности распределения граната в пределах одной трубки, поскольку мы ограничивались только одной пробой для каждой трубки. Многочисленные предыдущие исследования указывают на крайнюю неравномерность распределения граната, зависящую в первую очередь от фаз вне-

дрения. Но даже в пределах одной разновидности кимберлита имеют место неравномерность и концентрации, и качественного спектра разновидностей граната. Дело в том, что ксеногенная природа подавляющей части граната предполагает струйный и абсолютно случайный характер его попадания в кимберлитовый расплав-флюид, что в основном и объясняет особенности его распределения. Таким образом, корректный подход к описанию указанных закономерностей требует значительного увеличения числа анализов. Предполагается, что представительное число анализов должно быть не менее нескольких сот, при этом выборки граната должны быть взяты из разных фаз внедрения кимберлитов, из разных глубинных уровней исследуемой трубки. Тем не менее, анализ полученных нами скупых данных (около 100 для каждой трубки) по составу граната показывает, что для определенных целей этого числа изученных зерен достаточно. Основным критерием достаточности является повторяемость характеристик распределения для разных трубок одного куста.

**Примеры паспортизации кимберлитовых трубок Далдынского поля.** На основе изучения состава минералов-спутников из кимберлитов авторами проведена паспортизация практически всех трубок Далдынского поля (рис. 1), а также нескольких ореольных участков, расположенных в межтрубчатом пространстве. При анализе данных о составе пикроильменита (табл. 1) выяснилось, что из всех компонентов наиболее информативным является окисел  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . При отсутствии корреляции с другими окислами по содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ильменит делится на несколько самостоятельных групп в



Рис. 1. План размещения кимберлитовых тел в Далдынском поле (слева)

Приведены названия выделенных в виде овалов кустов трубок, а также одиночных трубок. На обзорной карте Сибирской платформы (справа) показаны кимберлитовые поля в виде залитых овалов. Названия алмазоносных полей (номера в кружочках): 1 — Малоботубинское, 2 — Алаakit-Мархинское, 3 — Далдынское, 4 — Накынское, 5 — Верхнемунское

ТАБЛИЦА 1

## СРЕДНИЙ СОСТАВ ПИКРОИЛЬМЕНИТА ИЗ ТРУБОК ДАЛДЫНСКОГО ПОЛЯ

Куст трубок	Число анализов	Трубка	Число анализов	Средний состав			
				Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg#
	1	<i>Сибирская</i>	3	0,8	9	40,96	18,4
	2	Синильга					
Удачная	3	<i>Полуночная</i>	12	0,74	9,27	33,75	24,99
	4	Удачная-зап.	88	1,2	9,07	40,28	18,42
	5	Удачная-вост.	82	1,01	9,6	39,92	19,46
Полярная	6	Любимая	124	0,84	9,3	39,56	19,05
	7	Волжанка	97	0,82	9,29	40,41	18,79
	8	Студенческая	91	0,76	9,58	39,71	19,48
	9	Полярная	92	0,79	9,54	39,45	19,52
	10	<i>Фестивальная</i>	10	1,49	10,6	37,34	22,20
Буковинская	11	Жила-75	Ильмениты отсутствуют во всех высокомагнезиальных кимберлитах трубок куста «Буковинская»				
	12	Горняцкая					
	13	Буковинская					
	14	Попова					
Малютка	15	Дайковая	93	1,74	8,7	39,66	18,04
	16	Соседняя	89	1,45	9,05	41,08	18,07
	17	Малютка	92	1,71	8,82	41,16	17,67
	18	<i>Алтайская</i>	98	0,51	9	40,59	18,21
	19	<i>Макатойская</i>	90	0,79	9,31	40,06	18,93
Зарница	20	Невидимка	95	0,85	8,99	39,92	18,27
	21	Зарница	114	0,94	8,96	40,66	18,16
	22	Попугаевой	116	0,93	8,84	40,92	17,95
	23	Чебурашка	30	1,16	8,35	41,82	16,66
	24	Электра	105	0,97	9,2	40,52	18,63
	25	Аргыс	100	1,01	8,98	40,35	18,34
	26	Иксовая	123	0,93	9,22	40,64	18,04
	26	<i>Прогнозная</i>	99	0,7	10,1	37,04	21,37
Летняя	27	Осенняя	64	1,81	8,48	40,20	17,51
	28	Зимняя	85	1,55	8,21	40,52	17,11
	29	Летняя	87	1,56	8,67	40,45	17,74
Рот-Фронт	30	Рот-Фронт	83	1,2	10,3	37,92	21,43
	31	Овал	127	1,18	11,1	35,46	23,78
Аэромагнитная	32	Далдынская	Нет данных				
	33	Аэромагнитная	108	0,97	9,67	39,28	19,9
	34	Эврика	84	0,82	9,2	39,98	18,89
	35	Эндир	73	0,82	9,35	40,07	19,05
	36	Мастахская	105	0,85	9,1	39,85	18,87
	36а	<i>Веснушка</i>	30	1,22	8,4	39,01	18,03
Якутская	37	Аэросъемочная	111	0,86	9,91	38,43	21,04
	38	Академическая	122	0,9	9,79	37,44	20,72
	39	Ильменитовая	79	1,06	9,33	38,33	19,65
	40	Якутская	85	0,74	9,15	38,21	19,40
	41	<i>Украинская</i>	99	1,28	9,49	38,74	19,76
Нюрбинская	42	Долгожданная	105	1,1	10,8	36,51	22,90
	43	Нюрбинская	111	0,93	10,3	37,11	21,76

Куст трубок	Число анализов	Трубка	Число анализов	Средний состав			
				Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeOtot	Mg#
Ленинградская	44	Геофизическая	37	0,74	12	34,09	25,98
	45	Ленинградская	90	0,77	11,1	34,73	24,41
	46	Молодежная	80	0,73	10,8	35,62	23,37
Загадочная	47	Кусова	2	0,87	9,77	41,61	19
	48	Загадочная	34	0,71	9,11	39,62	19,3
	49	<i>Иреляхская</i>	11	1,01	10,1	38,45	21,1
Дальняя	50	Мамбо	110	0,84	10,7	36,79	22,63
	51	Ну-погоди!	78	0,8	11	36,94	23,06
	52	Угадайка	79	0,85	10,9	36,79	23,03
	53	Саратовская	101	0,77	11,3	36,38	23,71
	54	Жила-70	71	0,84	11,6	35,46	24,73
	55	Дальняя	82	0,8	10,9	36,41	23,05
	56	Жила-74	66	0,86	11,2	35,54	23,95

Примечание. ОВП =  $Fe^{+3}/(Fe^{+3} + Fe^{+2}) \times 100$ ; Mg# =  $Mg/(Mg+Fe) \times 100$ ; SFeO к, MgO к, Mg# к – параметры состава вмещающего кимберлита. Курсивом набраны названия одиночных трубок, которые не включены в состав тех или иных кустов.

пределах одной трубки. Примечательно, что эти группы, как правило, прослеживаются в разных трубках одного куста. Показательны в этом плане гистограммы распределения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 2), а также графики корреляции данного окисла с другими параметрами состава пикроильменита, которые в целом наглядно демонстрируют деление на группы. Высокой информативностью обладает также и основной окисел MgO, который, как выяснилось, совместно с окислом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> фиксирует принадлежность вмещающего кимберлита трубки к тому или иному кусту трубок. В принципе и другие параметры состава, а также коэффициенты магнезиальности (Mg# =  $Mg/(Mg + Fe) \times 100$ ) и степени окисленности железа (СОЖ =  $Fe^{+3}/(Fe^{+3} + Fe^{+2}) \times 100$ ) необходимы для полной характеристики пикроильменита. Усредненные значения перечисленных параметров состава пикроильменита из всех изученных трубок сведены в табл. 1, которая собственно и является основным документом паспортных данных для кимберлитовых тел Далдынского поля.

Приведенные данные средних значений по Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg#, СОЖ достаточно четко показывают индивидуальность состава пикроильменита из кимберлитов отдельных кустов трубок. Из табл. 1 видно, что в то время, как ильменит из разных трубок одного и того же куста характеризуется близкими значениями приведенных параметров, ильменит из разных кустов имеет значимые отличия по одному из указанных выше параметров. Например, пикроильмениты из кустов «Аэромагнитная» и «Дальняя» характеризуются близкими значениями содержания Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (интервалы средних значений соответственно равны 0,82–0,97 и 0,77–0,85%, но четко отличаются по остальным компонентам (MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mg#, СОЖ).

Так, по MgO интервалы средних значений соответственно равны 9,1–9,67 и 10,87–11,59 %.

Особенности распределения состава граната отражены в паспортных данных для каждой из изученных кимберлитовых трубок. Ниже в качестве примера представлены данные только для трубок трех кустов: «Буковинская», «Малютка» и «Зарница»; графика демонстрируется только для одной трубки «Горняцкая» (рис. 3 и 4) из куста «Буковинская».

*Куст трубки «Буковинская».* Предварительное изучение цветowych разновидностей граната под биноклем показало, что основной особенностью его состава является высокий процент высокохромистого граната ультраосновного парагенезиса. Эта закономерность подтверждена микрозондовым анализом для трех кимберлитовых тел — трубок «Горняцкая», Д-56 (трубка «Попова») и Жила-75 (табл. 2, 3). Однако для трубки «Буковинская» содержание низкохромистых зерен граната (с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 0,2 %) оказалось неожиданно высоким — 43,8 % от всех проанализированных зерен. Поскольку высокий процент (80–90%) красно-фиолетовых и малиновых гранатов зафиксирован во всех просмотренных пробах из трубки «Буковинская», предполагаем, что в данном случае при подготовке пробы к микрозондовому анализу произошла какая-то ошибка. Поэтому необходимо признать, что данные по составу граната в трубке «Буковинская» не являются представительными.

Другой важной особенностью состава гранатов из трубок куста «Буковинская», подчеркивающей своеобразие этого куста, является абсолютное отсутствие среди них гранатов, принадлежащих к железо-титанистой мегакристной ассоциации. Отсутствие оранжево-красных желваков граната

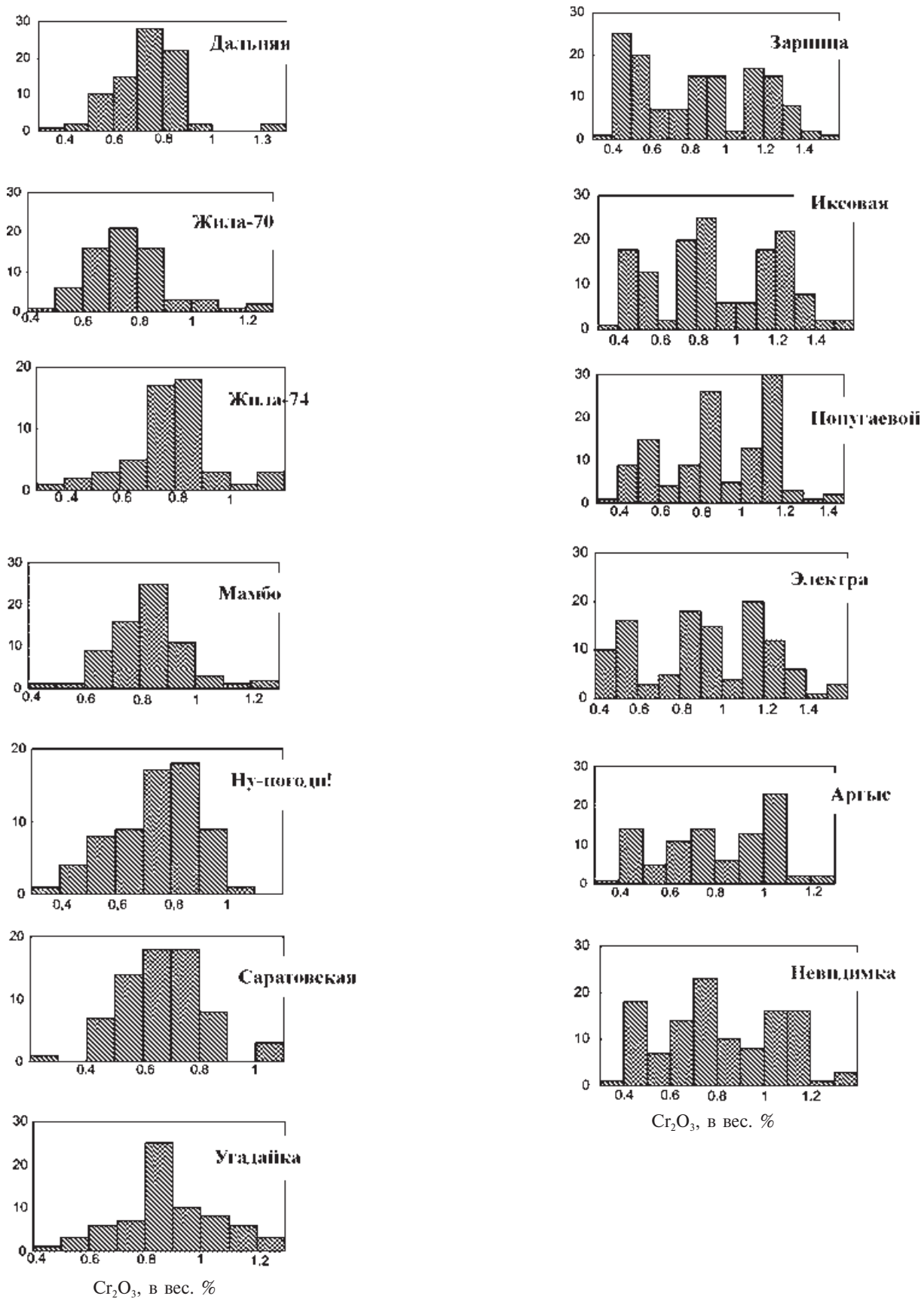


Рис. 2. Гистограммы распределения содержания  $Cr_2O_3$  в пикроильменитах из разных трубок и кустов

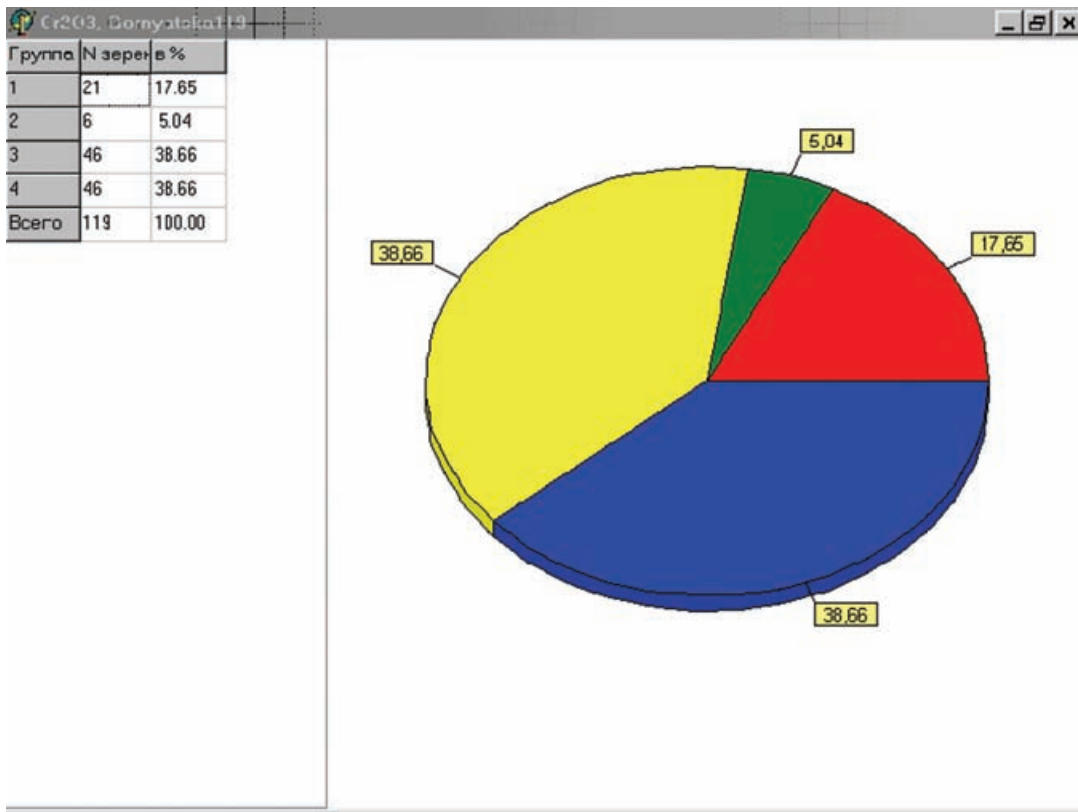


Рис. 3. Распределение гранатов по группам по содержанию  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  для трубки «Горняцкая»

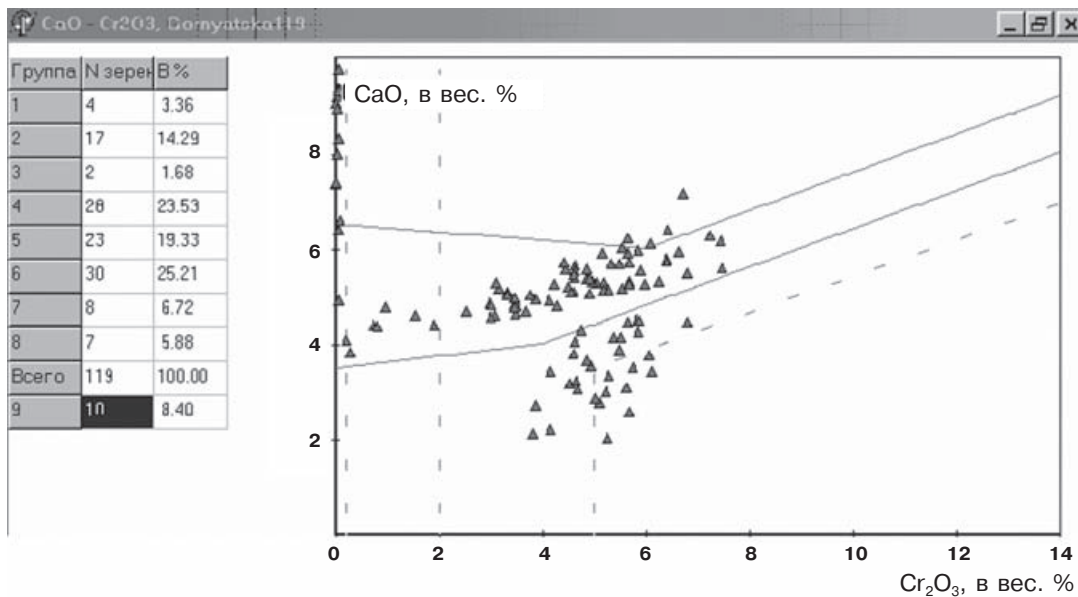


Рис. 4. Распределение гранатов по парагенетическим группам в координатах  $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$  для трубки «Горняцкая»

Парагенезисы: 1 — эклогитовый; 2 — эклогитоподобный; 3 — дунит-гарцбургитовый, низко-Cr; 4 — дунит-гарцбургитовый, высоко-Cr; 5 — пироксенито-вебстеритовый; 6 — лерцолитовый, средне-Cr; 7 — лерцолитовый, высоко-Cr; 8 — верлитовый; 9 — дунит-гарцбургитовый, алмазоносный

**ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ ПО ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИМ ГРУППАМ (В %) НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ Н. В. СОБОЛЕВА [8] В КООРДИНАТАХ CaO—Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА «БУКОВИНСКАЯ»**

Группа	Буковинская (105)	Горняцкая (119)	Жила-75 (97)	Д-56 (22)
1	9,52	3,36	0	0
2	34,29	14,29	0	9,09
3	0,95	1,68	0	0
4	11,43	23,53	10,31	4,55
5	13,33	19,33	22,68	0
6	19,05	25,21	36,08	27,27
7	4,76	6,72	19,59	27,27
8	6,67	5,88	11,34	31,82
	100	100	100	100
9	1,9	8,4	1,03	0

Примечание. В скобках указано число изученных зерен.

ТАБЛИЦА 3

**ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ НА ГРУППЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА «БУКОВИНСКАЯ»**

Группа	Буковинская (105)	Горняцкая (119)	Жила-75 (97)	Д-56 (22)
1 (0-0,2%)	46/43,8	21/17,6	0	2/9.1
2 (0,2-2%)	4/3,81	6/5,0	3/3,1	0
3 (2-5%)	29/27,6	46/38,7	43/44.3	4/18.2
4 (> 5%)	26/24,8	46/38,7	51/52.6	16/72.7

Примечание. В числителе указано число зерен, в знаменателе — % к общему числу изученных зерен.

вполне корреспондируется с отсутствием в тяжелой фракции кимберлита трубок этого куста пикроильменита, а с другой стороны, с обогащенностью концентрата хромшпинелидами, что указывает на генетическую связь последних с гранатами ультраосновного парагенезиса. Следует заметить, что хромшпинелиды являются неотъемлемой частью тяжелой фракции всех кимберлитовых тел куста трубки «Буковинская». Их состав характеризуется относительно высокой хромистостью, достигающей 62,5 мас.%. Относительный процент шпинелидов с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, превышающим 60% в трубке «Буковинская», равен 7,55, в трубке «Горняцкая» — 6,1, в «Жила-75» — 1,9%.

Повышенный процент граната алмазного дунит-гарцбургитового парагенезиса отмечается только в трубке «Горняцкая» (8,4%).

Куст трубки «Малютка» охарактеризован по гранатам (табл. 4–6) практически только двумя пробами из кимберлитовых тел «Дайковая» и «Соседняя». Шлих трубки «Малютка» оказался чрезвычайно обедненным гранатом (изучен состав трех зерен). Состав граната из трубок «Дайковая» и «Соседняя» примерно одинаков, характеризуется незначительным или полным отсутствием граната низкохромистого экологитового и корового экологитоподобного парагенезиса и по этому признаку не отличается от куста «Буковинская». Суще-

ТАБЛИЦА 4

**ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ ПО ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИМ ГРУППАМ (В %) НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ Н. В. СОБОЛЕВА [8] В КООРДИНАТАХ CaO—Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА «ДАЙКОВАЯ»**

Группа	Дайковая (99)	Соседняя (91)	Малютка (3)
1	0	2,2	0
2	0	2,2	0
3	3,03	0	0
4	5,05	4,4	33,33
5	75,76	62,64	33,33
6	10,1	20,88	0
7	6,06	7,69	33,33
8	0	0	0
	100	100	100
9	2,02	2,2	0

ственное отличие в другой особенности состава — во всех трубках куста «Дайковая» обнаруживается высокий процент концентрации граната железотитанистой мегакристной ассоциации (от 29,6 до 60,6%), что хорошо согласуется со значительным преобладанием в тяжелой фракции пикроильме-



ТАБЛИЦА 5

**СРЕДНИЙ СОСТАВ ГРАНАТОВ МЕГАКРИСТНОЙ  
АССОЦИАЦИИ ИЗ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА  
«ДАЙКОВАЯ»**

Элементы	Дайковая (99)	Соседняя (91)	Малютка (3)
SiO <sub>2</sub>	42,16	42,04	41,48
TiO <sub>2</sub>	0,62	0,63	0,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,32	20,38	21,4
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,26	2,14	1,79
FeO	7,9	8,28	10,13
MnO	0,12	0,31	0,39
MgO	20,95	21	20,07
CaO	4,3	4,39	4,15
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,05	0,03

Примечание. Число зерен в трубках «Дайковая» — 60/60,6; «Соседняя» — 27/29,6; «Малютка» — 1/33,3 (числитель — число зерен, знаменатель — % к общему числу изученных зерен).

нита. Другой особенностью состава является заметное присутствие граната высокохромистого лерцолитового парагенезиса (группа 7) и практическое отсутствие гранатов высококальциевого верлитового парагенезиса (группа 8). Содержание гранатов алмазного парагенезиса в трубках куста «Дайковая» низкое (до 2,2%). Из трубки «Малютка» проанализировано шесть зерен хромшпинелида, два из которых с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> более 60 мас.%, в том числе одно принадлежит к алмазному парагенезису.

*Куст трубки «Зарница».* При анализе паспортных данных для граната из разных трубок куста (табл. 7–9) наиболее интересен вопрос об общих особенностях состава для всех или для большинства кимберлитовых тел куста. Таким образом, мы пытаемся создать единый паспорт всего куста. Именно с этих позиций был проанализирован состав граната из предыдущих двух кустов (табл. 7). Все трубки куста «Зарница», за исключением двух трубок «Алтайская» и «Макатойская», характери-

**ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ НА ГРУППЫ  
ПО СОДЕРЖАНИЮ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ РАЗНЫХ ТРУБОК  
КУСТА «ДАЙКОВАЯ»**

Группа (%)	Дайковая (99)	Соседняя (91)	Малютка (3)
1 (0–0,2)	0	4/4,4	0
2 (0,2–2)	30/30,3	23/25,27	1/33,3
3 (2–5)	54	47/51,65	0
4 (> 5)	15/15	17/18,68	2/66,6

Примечание. В числителе указано число зерен, в знаменателе — % к общему числу изученных зерен.

зуются варьирующими, но в определенной мере близкими по значению содержаниями большинства парагенетических групп. Гранаты из трубок «Алтайская» и «Макатойская» отличаются отсутствием группы 2 (корового происхождения), минимальными содержаниями группы 7 и максимальными содержаниями группы 5. В этих же трубках установлен самый высокий (по сравнению с другими трубками куста) процент содержания граната мегакристной ассоциации (от 26,2 до 42,6%). Именно эти две трубки из куста «Зарница» существенным образом отличаются по составу пикроильменита, что послужило основанием для исключения обеих трубок из состава куста. В какой-то мере самые удаленные (от основной трубки «Зарница») трубки «Аргыс», «Иксовая» и «Невидимка» являются промежуточными по характеристикам состава. Но все же не надо забывать и об общей непредставительности анализов по гранатам, проведенных в настоящем исследовании.

ТАБЛИЦА 7

**ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ ПО ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИМ ГРУППАМ (В %) НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ  
Н. В. СОБОЛЕВА [8] В КООРДИНАТАХ CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА «ЗАРНИЦА»**

Группа	Зарница (111)	Попугае- вой (96)	Электра (91)	Аргыс (107)	Иксовая (86)	Невидим- ка (103)	Алтайс- кая (129 )	Макатой- ская (103)	Чебураш- ка (86)
1	14,41	20,83	35,16	1,87	8,18	15,53	3,1	2,91	31,4
2	4,5	13,54	6,59	4,67	3,64	3,88	0	0	5,81
3	0	0	0	0,93	1,82	0	1,55	7,77	0
4	12,61	13,54	7,69	5,61	6,36	11,65	8,53	8,74	5,81
5	34,23	25	28,57	53,27	52,73	42,72	63,57	48,54	15,12
6	16,22	12,5	12,09	14,02	17,27	10,68	16,28	27,18	11,63
7	15,32	9,38	7,69	14,95	10	10,68	6,2	3,88	12,79
8	2,7	5,21	2,2	4,67	0	4,85	0,78	0,97	17,44
9	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	5,41	7,29	2,2	1,87	3,64	5,83	5,43	0,97	2,33

СРЕДНИЙ СОСТАВ ГРАНАТОВ МЕГАКРИСТНОЙ АССОЦИАЦИИ ИЗ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА «ЗАРНИЦА»

Элементы	Зарница (10/9,0)	Попугаевой (8/8,3)	Электра (3/3,3)	Аргыс (21/19,6)	Иксовая (19/17,3)	Невидимка (17/16,5)	Алтайская (55/42,6)	Макатойская (27/26,2)	Чебурашка
SiO <sub>2</sub>	41,72	41,66	42,38	41,92	41,43	41,98	42,23	42,43	41,98
TiO <sub>2</sub>	0,89	0,63	0,76	1,14	0,68	0,7	0,61	0,62	0,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,2	20,24	20,51	20	20,62	20,6	20,6	21,04	20,22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,18	2,62	2,35	2,12	2,24	2,12	2,3	2,24	2,29
FeO	8,72	7,91	8,41	8,31	8,03	8,27	7,96	8,35	8,21
MnO	0,26	0,29	0,31	0,16	0,3	0,29	0,32	0,31	0,29
MgO	21,29	20,99	21,01	20,9	21,03	21,07	21,08	21,19	20,32
CaO	4,58	4,58	4,4	4,5	4,41	4,51	4,31	4,2	4,58
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,04	0,07	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,04

Примечание. В скобках указано число зерен.

ТАБЛИЦА 9

ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ НА ГРУППЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ РАЗНЫХ ТРУБОК КУСТА «ЗАРНИЦА»

Группа (%)	Зарница	Попугаевой	Электра	Аргыс	Иксовая	Невидимка	Алтайская	Макатойская	Чебурашка
1 (0–0,2)	21/18,9	33/34,4	38/41,8	7/6,5	13/11,8	20/19,4	4/3,1	3/2,9	32/37,2
2 (0,2–2)	14/12,6	6/6,2	16/17,6	24/22,4	19/17,3	24/23,3	28/27,7	21/20,4	7/8,1
3 (2–5)	33/29,7	26/27,1	21/23,1	43/40,2	55/50	30/29,1	72/55,8	57/55,3	18/20,9
4 (> 5)	43/38,7	31/32,3	16/17,6	33/30,8	23/20,9	29/28,2	25/19,4	22/21,4	29/33,7

Примечание. В числителе указано число зерен, в знаменателе — % к общему числу изученных зерен.

Наиболее высокие содержания гранатов алмазного парагенезиса установлены в трубках «Попугаевой» (7,3%), «Невидимка» (5,8%), «Алтайская» (5,43%) и «Зарница» (5,41%). В трубке «Макатойская» проанализировано всего одно зерно хромшпинелида, оно оказалось алмазного парагенезиса с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 64,5 мас.%.  
Приведем примеры реализации задачи идентификации коренных источников по паспортным данным ореолов путем их сравнения с паспортными данными уже известных кимберлитовых трубок. В Институт геохимии СО РАН Амакинской экспедицией были переданы шлиховые пробы с ореольных участков, выделенных в Далдынском поле, — 8 (расположенного в районе куста трубки «Зарница») и 13 (в районе куста трубки «Аэромагнитная»). Поскольку каждый из шлихов содержал, как правило, небольшое число минералов-спутников, шлихи объединялись в одну пробу. При этом руководствовались критерием максимального охвата территории ореольного участка. В первую очередь изучались шлихи с максимальной концентрацией спутников (которая не может быть объяснена близостью места отбора шлиха с уже известным коренным источником — кимберлитовой трубкой). Обработка полученных аналитических данных по составу минералов проведена по той же схеме, которая была использована для паспортизации трубочных тел Далдынского поля. Заме-

тим, что отсутствие значимых отличий по типохимизму пикроильменита из разных трубок куста существенно ограничивает возможность использования данных по ореолам рассеивания этого минерала-спутника с целью привязки к определенному коренному источнику. Ореольный пикроильменит мы имеем право привязывать только к определенному кусту трубок.

Участок 8 охарактеризован тремя пробами — 8-1, 8-2 и 8-3. Проба 8-1 объединяет два шлиха 3014/2 и 3014/к и отобрана в 250 м северо-восточнее трубки «Аргыс» (куст трубки «Зарница»). Проба 8-2 объединяет пять шлихов и отобрана в 500 м восточнее трубки «Аргыс». Проба 8-3 объединяет пять шлихов и отобрана в 250 м севернее трубки «Электра» (куст трубки «Зарница»).

Как видно из табл. 10, для всех трех проб состав пикроильменита в целом соответствует паспортным характеристикам пикроильменита из трубок куста «Зарница» как по средним параметрам состава, так и по своеобразию картины трехпикового распределения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в гистограммах.

Соотношение парагенетических групп граната в пробах 8-1, 8-2 в целом достаточно близко к таковому (табл. 11) для граната из ближайшей к месту отбора проб трубки «Аргыс», которую, по видимому, и следует считать коренным источником для изученных минералов-спутников ореола. Состав граната из пробы 8-3 очень близок по сво-

## УСРЕДНЕННЫЕ ДАННЫЕ СОСТАВА ПИКРОИЛЬМЕНИТА ИЗ ОРЕОЛА 8 И БЛИЖАЙШИХ ТРУБОК

Трубка, номер пробы	Число анализов	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , в вес %	MgO, в вес %	Mg#	ОВП
Иксовая	123	0,93	9,22	18,04	40,27
8-1	79	0,91	9,52	18,7	39
8-2	79	0,94	8,83	17,37	40
Аргыс	100	1,01	8,98	18,34	40,42
8-3	103	0,83	10,05	19,66	39
Электра	105	0,97	9,2	18,63	39,56

ТАБЛИЦА 11

ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ ПО ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИМ ГРУППАМ (В %) НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ Н. В. СОБОЛЕВА [8] В КООРДИНАТАХ CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ ОРЕОЛЬНОГО УЧАСТКА 8 И БЛИЖАЙШИХ ТРУБОК

Группа	Иксовая (86)	8-1 (96)	8-2 (104)	Аргыс (107)	8-3 (94)	Электра (91)
1	8,18	7,29	8,65	1,87	31,91	35,16
2	3,64	2,08	0	4,67	3,19	6,59
3	1,82	0	0,96	0,93	1,06	0
4	6,36	10,42	19,23	5,61	10,64	7,69
5	52,73	52,08	44,23	53,27	37,23	28,57
6	17,27	8,33	8,65	14,02	9,57	12,09
7	10	13,54	15,38	14,95	3,19	7,69
8	0	6,25	2,88	4,67	3,19	2,2
	100	100	100	100	100	100
9	3,64	4,17	2,88	1,87	2,13	2,2

ему «парагенетическому разрезу» к составу граната из ближайшей трубки «Электра».

Таким образом, следует вывод, что ореольный участок 8 был сформирован за счет разрушения известных близрасположенных кимберлитовых трубок.

*Участок 13* расположен в районе трубок куста «Аэромагнитная» и изучен тремя пробами: 13-1, 13-2 и 13-6646. Проба 13-1 объединяет пять шлихов и отобрана в 500 м северо-восточнее трубки «Эндир» (куст трубки «Аэромагнитная»). Проба 13-2 объединяет 15 шлихов и отобрана в 1200 м северо-восточнее трубки «Аэромагнитная», в водораздельной части. Проба 13-6646 соответствует одиночному шлиху, отмытому в 700 м от трубки «Мастахская». Следует заметить, что все шлихи характеризуются определенным дефицитом зерен граната, что не позволило набрать представительное их число для анализа. В табл. 12 и 13 в целях сопоставления даны основные паспортные характеристики пикроильменита и граната из данных проб и ближайших к ним трубок.

Судя по данным, приведенным в табл. 13, состав пикроильменита из проб 13-1 и 13-6646 заметно отличается от ближайших кимберлитовых трубок «Эндир» и «Мастахская» — наиболее вероятных претендентов на коренной источник дан-

ных ореолов. С другой стороны, в кусте трубки «Аэромагнитная» вообще пока не известны тела, содержащие пикроильменит с подобными паспортными данными, которые имеют эти две пробы — высокое содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пробе 13-1 и MgO в пробе 13-6646. Гистограммы распределения Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, соответствующие данным пробам, отличаются по рисунку от таковых для пикроильменита из ближайших трубок.

Несмотря на непредставительность изученных проб по гранату, некоторые выводы о коренных источниках мы все же сделаем. По близости соотношения парагенетических групп граната в пробах 13-1 и из ближайшей к ней трубки «Эндир» (табл. 13) считаем, что гипотеза о данной трубке как коренном источнике, не может быть отвергнута. Что касается двух других проб граната (13-2 и 13-6646), то их «парагенетические разрезы» существенно отличаются от таковых (табл. 13) из ближайших к месту отбора проб трубок «Аэромагнитная» и «Мастахская». Обращает на себя внимание относительно высокий процент (10 %) граната алмазного парагенезиса — группы 9 в пробе 13-6646.

Таким образом, по результатам изучения состава минералов-спутников можно сделать вывод, что изученные пробы ореольного участка 13 были

**УСРЕДНЕННЫЕ ДАННЫЕ СОСТАВА ПИКРОИЛЬМЕНИТА ИЗ ОРЕОЛЬНОГО УЧАСТКА 13  
И БЛИЖАЙШИХ ТРУБОК**

Трубка, номер пробы	Число анализов	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас, %	MgO, мас, %	Mg#	ОВП
13-1	72	1,92	9,45	24,61	37
Эндир	73	0,82	9,35	19,06	39,87
13-2	56	0,82	9,46	18,64	41
Аэромагнитная	108	0,97	9,67	19,91	37,5
13-6646	79	1,11	11,07	22,55	34
Мастахская	105	0,85	9,1	18,86	36,17

ТАБЛИЦА 13

**ДЕЛЕНИЕ ГРАНАТОВ ПО ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИМ ГРУППАМ (В %) НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ  
Н. В. СОБОЛЕВА [8] В КООРДИНАТАХ CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ДЛЯ ОРЕОЛЬНОГО УЧАСТКА 13  
И БЛИЖАЙШИХ ТРУБОК**

Группа	13-1 (23)	Эндир	13-2 (34)	Аэромагнитная	13-6646 (19)	Мастахская
1	8,7	0	5,88	62,11	5,26	8,7
2	0	0	0	22,11	0	2,17
3	0	0	0	0	0	0
4	4,35	4,69	14,71	0	26,32	9,78
5	43,48	65,63	44,12	10,53	15,79	33,7
6	17,39	21,88	14,71	4,21	21,05	31,52
7	17,39	7,03	17,65	1,05	21,05	14,13
8	8,7	0,78	2,94	0	10,53	0
	100	100	100	100	100	100
9	0	3,91	5,88	0	10,53	5,43

сформированы за счет разрушения не известных ранее коренных источников. Наиболее перспективен участок, соответствующий пробе 13-6646.

Хотя открытия новой трубки в районе куста «Аэромагнитная» еще не состоялось, но эффективность использования паспортных данных по известным трубкам, особенно по составу пикроильменита, достаточно очевидна.

**Научная значимость паспортизации трубок.** Обобщение паспортных данных, полученных практически для всех известных трубок Далдынского поля, оказалось весьма эффективным в научном плане. Анализ усредненных данных по составу пикроильменита из кимберлитовых тел поля, рассмотрение гистограмм распределения состава ильменита в этих телах привел авторов к двум выводам, которые могут быть отнесены к числу фундаментальных.

Первый вывод заключается в том, что ильменит может быть использован для расшифровки структуры кимберлитового поля. Близость, практически тождественность состава пикроильменита для разных трубок одного куста может служить критерием отнесения или не отнесения той или иной трубки к определенному кусту. На рис. 1 выделены кусты трубок в Далдынском поле, исходя именно из данного критерия. Авторами сде-

лан и более общий вывод: состав ильменита может служить одним из критериев установления неоднородности состава астеносферного слоя под кимберлитовыми полями, который существовал в момент их формирования.

Второй вывод касается проблемы происхождения пикроильменита. Большинство исследователей [2, 5–7, 10] связывает происхождение макрокристаллического ильменита с дезинтеграцией мантийных ильменитсодержащих пород. Выявленные нами особенности распределения состава пикроильменита в пределах Далдынского поля позволяют сделать выводы об источниках вещества для расплава, из которого кристаллизовался пикроильменит. Своеобразие состава пикроильменита, проявляющееся для всех трубок поля, характерные особенности распределения малых окислов Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, проявляющиеся в разных кустах кимберлитовых трубок, указывают на общий источник вещества, который мы соотносим с астеносферным. С другой стороны, своеобразие состава пикроильменита каждого куста трубок (по содержанию MgO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) отражает специфику магматического расплава, из которого они кристаллизовались. Возникновение такого гибридного расплава мы связываем с формированием магматического кимберлитового очага для каждого куста трубок. Таким образом, минералогическая

паспортизация трубок и данные о распределении состава пикроильменита не согласуются с распространенной гипотезой о его ксеногенном происхождении.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ, грант № 02-05-64793.

---

1. *Владимиров Б.М., Соловьева Л.В., Киселев А.И.* и др. Кимберлиты и кимберлитоподобные породы // Кимберлиты — ультраосновная формация древних платформ. Новосибирск: Наука. 1990. 264 с.

2. *Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т.* Ильменит из кимберлитов. М.: Изд-во МГУ. 1984. 240 с.

3. *Костровицкий С.И., Митчелл Р.Х., Иванова Р.Н., Суворова Л.Ф.* Тренды изменчивости состава мегакристов граната из алмазосодержащих и неалмазосодержащих кимберлитовых трубок (Якутия, Россия) // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 2. С. 444–453.

4. *Кротков В.В., Кудрявцева Г.П., Богатилов О.А.* и др. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС. 2001. 310 с.

5. *Кудрявцева Г.П., Бовкун А.В., Гаранин В.К., Черный С.Д.* Типоморфизм ильменита из кимберлитов Малоботуобинского поля (Якутская алмазосодержащая провинция) // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронежский ГУ. 2003. С. 224–228.

6. *Пономаренко А.Н.* О включении глубинной породы флогопит-оливин-пикроильменитового состава из кимберлитов Якутии и ее взаимоотношения с пироповым перидотитом // ДАН СССР. 1971. Т. 200. № 6. С. 1429–1432.

7. *Родионов А.С.* Минералогия глубинных ксенолитов из кимберлитовой трубки Дальняя (Якутия). Автореф. канд. дис. Новосибирск. Изд. ИГиГ СО АН СССР. 1981. 22 с.

8. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах. Новосибирск: Наука, 1974. 264 с.

9. *Dawson J.B., Stephens W.E.* Statistical analysis of garnets from kimberlites and associated xenoliths // J. Geol. 1975. Vol. 83. P. 589–607.

10. *Haggerty S.E.* The chemistry and genesis of opaque minerals in kimberlite // Physics and chemistry of the Earth. New York: Pergamon Press. 1975. Vol. 9. P. 227–243.