

УДК 552.323.6

© Коллектив авторов, 2006

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ПАСПОРТИЗАЦИЯ РАЗНЫХ ТАКСОНОВ КИМБЕРЛИТОВОГО ВУЛКАНИЗМА — МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА АЛМАЗЫ

С.И.Костровицкий, Н.В.Алымова, Д.А.Яковлев (Институт геохимии СО РАН), В.П.Серов (Акционерная компания «АПРОСА»), С.С.Мацюк (Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины), Л.Ф.Суворова (Институт геохимии СО РАН)

Шлихоминералогические поиски по минералам-спутникам — один из основных методов обнаружения кимберлитовых трубок. Обычно использование данного метода заключается в оценке степени близости изучаемого ореола к коренному источнику, а также в предварительной оценке уровня алмазности предполагаемого источника. В начальную стадию изучения территории развития кимберлитового вулканизма данные задачи решались вполне удовлетворительно без привлечения уже известной информации о составе минералов-спутников ранее открытых кимберлитовых трубок. Принципиально иная ситуация возникла в последнее время, когда большинство кимберлитовых тел в пределах известных кимберлитовых полей уже открыто. Перед исследователями неизбежно встают вопросы, а не принадлежат ли изучаемые ореолы уже 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. Ответы на возникающие вопросы могут быть даны только при наличии базы данных об индивидуальных характеристиках состава минералов-спутников из всех известных кимберлитовых тел, что, собственно, и является задачей их минералогической паспорттизации. Однако следует признать, что несмотря на большое число выполненных работ по изучению состава минералов-спутников из кимберлитовых трубок, систематические данные по их паспортам отсутствуют. Более того, нет общепринятого подхода к методическим основам минералогической паспорттизации трубок. В настоящей работе рассматривается один из вариантов решения проблемы паспорттизации, открытый для дискуссии и предложений.

В минералогический портрет (паспорт) трубки, куста трубок, поля трубок, ореола рассеяния спутников нами вкладывается понятие индивидуализированной характеристики состава минералов-спутников для соответствующих кимберлитовых тел, групп тел или вторичных ореолов их рассеяния, которая дается с помощью графических и табличных средств. Предполагается, что паспорт с максимальной полнотой отражает основные статистические показатели распределения состава того или иного спутника и является устойчивой, присущей только данному объекту характеристикой.

Задача создания минералогического паспорта 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. На наш взгляд, большинство таких классификаций [4, 5, 13] носят, с одной стороны, субъективный характер, а с другой — недостаточно формализованы для компьютерного использования. Субъективность проявляется в том, что классификация, основанная на кластерном анализе, зависит от частной выборки анализов, которая была использована автором. У разных авторов разные выборки и, следовательно, разные классификационные схемы. Отсутствие у исследователей единого подхода к выделению разновидностей мантийных ксенолитов делает практически невозможным использование для классификаций литературных данных. Недостаток формализации выражается в том, что приведенные авторами классификаций диапазоны вариации составов разных генетических групп граната, как правило, очень широки и нередко перекрываются друг другом.

Безусловно, выбор способа создания портрета (т.е. использования определенной классификации минерала) напрямую зависит от целей, которые преследует исследователь. Нами ставится задача найти такие параметры состава минерала, которые надежно указывали бы на принадлежность его к определенному трубочному телу, чтобы с их помощью было легко 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: содержание Cr_2O_3 ; содержание Cr_2O_3 и CaO . Данные параметры традиционно применяются в геологической практике.

По содержанию Cr_2O_3 гранаты разделены на четыре группы: $0 > \text{Cr}_2\text{O}_3 [0,2\%$; $0,2 > \text{Cr}_2\text{O}_3 [2,0\%$; $2,0 > \text{Cr}_2\text{O}_3 [5,0\%$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 5\%$. Разделение гранатов в координатах Cr_2O_3 и CaO проводится на основе известной двойной диаграммы Н.В.Соболева [6], в которой нами выделены следующие парагенетические группы гранатов: 1) эклогитовый; 2) эклогито-

подобный, 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 составов 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 Cr_2O_3 – CaO (обозначим Cr_2O_3 — x , CaO — y): 1) $x[0,2$, $y[7$; 2) $x[0,2$, $y>7$; 3) $x[4$, $y[0,125x+3,5$; 4) $x>4$, $y[0,4x+2,4$; 5) $x[4$, $y[-0,083x+6,5$; 6) $4<x[5$, $y[-0,083x+6,5$; 7) $5<x[6$, $y[0,4x+3,6$; 8) $x>6$, $y[0,4x+3,6$; 9) $x>5$, $y[0,38x+1,6$.

Наряду с гранатами явно ксеногенного происхождения (из верхней мантии и коры), в кимберлитах встречаются мегакритные вкрапленники (желваки) гранатов оранжево-красного цвета, для которых предполагается фенокритный генезис. Как показали исследования [10], мегакритный гранат,

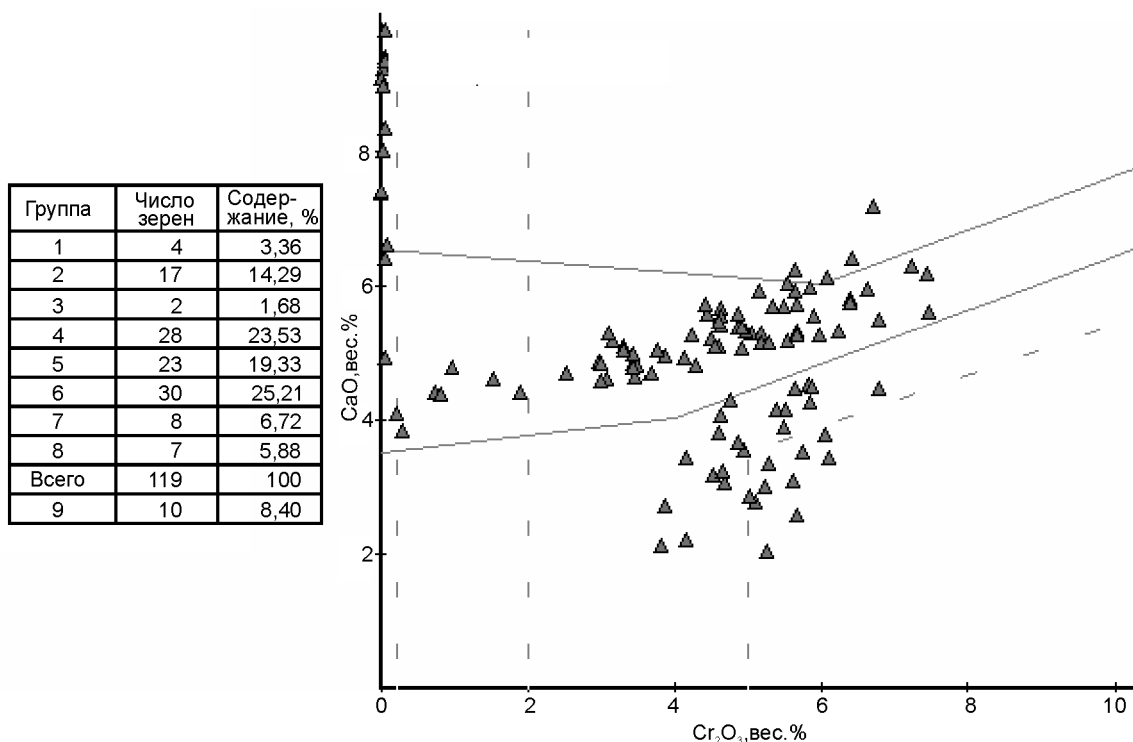


Рис. 1. Распределение гранатов по парагенетическим группам в координатах CaO – Cr_2O_3 для трубки Горняк-кая:

названия парагенезисов — см. текст

принадлежащий к железо-титанистой ассоциации, характеризуется определенным составом. Авторы считают, что выделение данной разновидности гранатов среди общей совокупности анализов дополняет минералогический портрет того или иного таксона. Выделение анализов, соответствующих гранатам мегакристаллической ассоциации, нами производилось для составов, удовлетворяющих следующим условиям: $TiO_2 > 0,45$; $0,35 < Cr_2O_3 [4,8; 3,35 < CaO [4,8; 6,8 < FeO [10,2$.

Отметим, что в кимберлитах некоторых трубок и даже кустов трубок отсутствует оранжево-красный мегакристаллический гранат. Отсутствие данной разновидности граната не случайно, оно отражает специфические условия формирования вмещающего кимберлита и характеризует минералогический состав соответствующей трубки.

В графическом исполнении минералогический портрет по отношению к гранату представлен цветной круговой диаграммой, демонстрирующей соотношения выборок граната с разным содержанием Cr_2O_3 , и двойной диаграммой Н.В.Соболева в координатах $CaO-Cr_2O_3$ (рис. 1).

Кристаллизация пикроильменита, состав которого хотя и широко варьирует, в основном происходила непосредственно из кимберлитового расплава или из выплавок, связанных с формированием магматического кимберлитового очага. Наиболее показательными параметрами изменчивости состава пикроильменита служат содержания Cr_2O_3 , Fe_2O_3 и MgO , а также магнезиальность ($Mg\# = Mg / (Mg + Fe) \cdot 100$) [7, 9]. По данным параметрам составлена таблица для паспортизации кимберлитовых трубок и других объектов. Из графических средств для создания паспорта наиболее наглядны и информативны гистограммы распределения Cr_2O_3 и MgO . Они могут быть одно-, двух- и трехмодальными. Важную информацию несут интервалы вариаций содержания указанных оксидов, соответствующие каждому из пиков гистограммы. Для создания минералогического портрета по пикроильмениту дополнительно использованы корреляционный график $MgO-Cr_2O_3$ (рис. 2) и тройная диаграмма минеральных составов $MgTiO_3-FeTiO_3-Fe_2O_3$, с помощью которых демонстрируются тренды кристаллизации.

В отличие от пикроильменита и граната шпинелиды не столь широко распространены и образуют повышенные концентрации лишь в отдельных кимберлитовых телах. Как правило, высокое содержание шпинелидов в тяжелой фракции отмечается в трубках, выполненных высокомагнезиальным типом кимберлитов. Более широко шпинелиды разви-

ты в кимберлитах Накынского и Верхне-Мунского полей. В тяжелой фракции кимберлитов подавляющего числа трубок этих полей шпинелиды заметно доминируют по сравнению с пикроильменитом. Варьирующие составы большинства шпинелидов из кимберлитов описываются [1] восьмикомпонентной системой минералов — $MgCr_2O_4$ (магнезиохромит) — $FeCr_2O_4$ (хромит) — $MgAl_2O_4$ (шпинель) — $FeAl_2O_4$ (герцинит) — Mg_2TiO_4 (магнезиальная ульвошпинель) — Fe_2TiO_4 (ульвошпинель) — $MgFe_2O_4$ (магнезиоферрит) — Fe_3O_4 (магнетит).

Выделены две группы аксессуарных шпинелидов (из тяжелой фракции кимберлитов) — низкомагнезиальные и высокомагнезиальные, различающихся по трендам состава и корреляционным связям. Поэтому минералогический паспорт по шпинелидам обязательно должен быть представлен корреляционными графиками, в которых одной из координат служит коэффициент магнезиальности ($Mg\# = Mg / (Mg + Fe) \cdot 100$). Из других параметров наиболее показательны содержания TiO_2 и Cr_2O_3 . Картины распределения состава шпинелидов на соответствующих графиках $Mg\#-TiO_2$ и $Mg\#-Cr_2O_3$ специфичны не только для разных петрохимических типов кимберлита, но и для каждого кимберлитового тела.

В паспорт следует включить также таблицу усредненного состава шпинелидов, поскольку, как показали исследования [12], разные кимберлитовые тела имеют по этому показателю четкие различия. Кроме того, необходима оценка содержания шпинелидов алмазоносного парагенезиса, согласно критерию, разработанному Н.В.Соболевым.

Многокомпонентный состав шпинелидов обусловил высокую эффективность применения факторного анализа [11], позволяющего проследить направленность изменчивости элементного состава минерала. Однако в отличие от указанных выше работ, в которых факторы изменчивости состава были вычислены как единые для всей совокупности шпинелидов разных парагенезисов, авторы считают, что факторный анализ должен применяться для каждой генетической группы шпинелидов в отдельности. Факторы изменчивости состава аксессуарных шпинелидов зависят от петрохимического типа кимберлитов, к которому они принадлежат. Для шпинелидов из кимберлитов магнезиально-железистого типа (например, из трубки Юбилейная) основным фактором изменчивости состава является $Al_{0,8}Mg_{0,72}Fe^{+2}_{0,93}Mn_{0,85}Ti_{0,51}Fe^{+30}_{0,48}Cr_{0,36}$, который свидетельствует о доминирующей роли таких изовалентных и гетеровалентных замещений, как: $Mg^{+2} \leftrightarrow (Mn, Fe)^{+2}$; $2(Al)^{+3} \leftrightarrow$

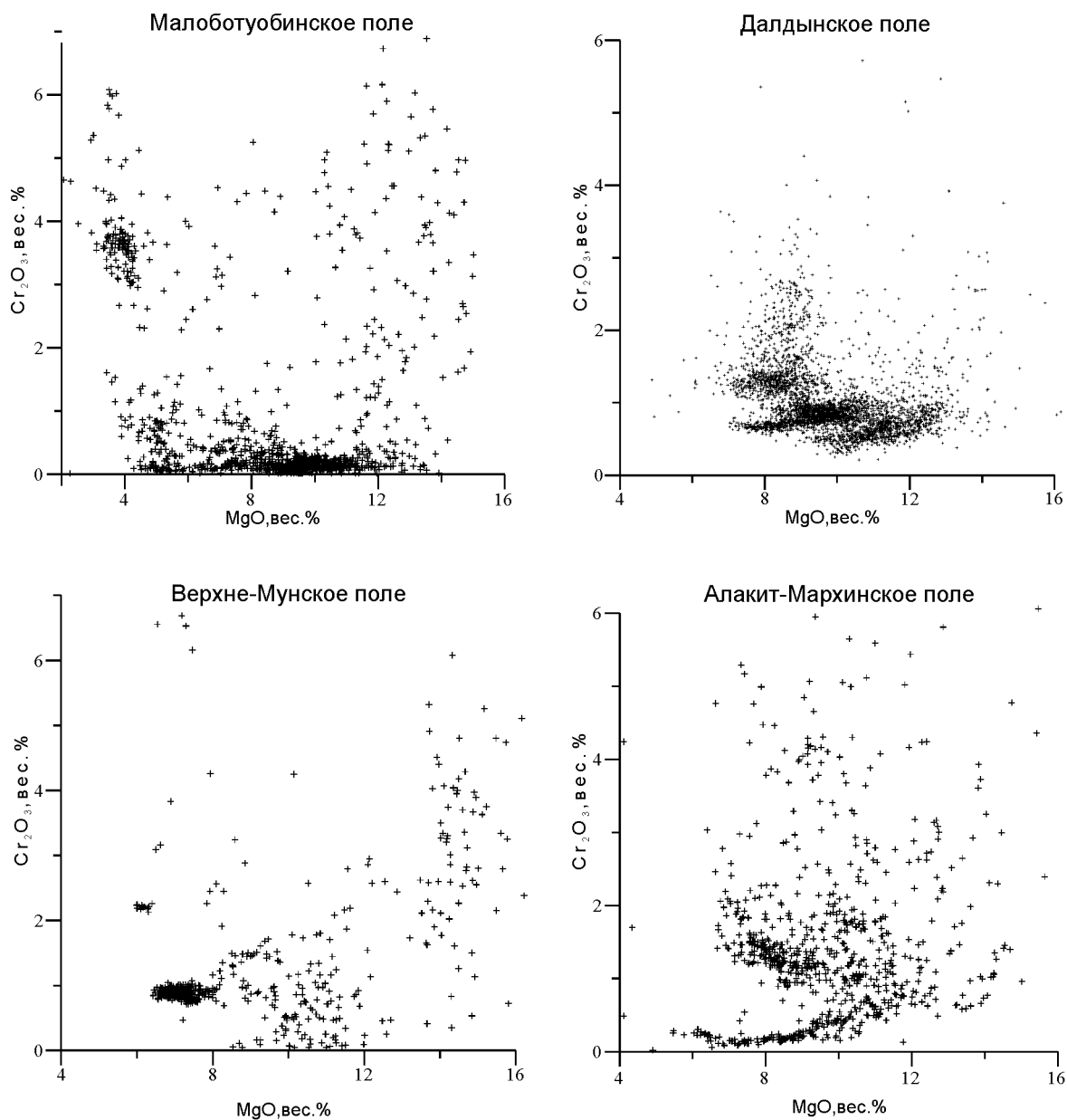


Рис. 2. Корреляции состава пикроильменитов $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ из кимберлитов алмазоносных полей Якутской провинции

$\text{Ti}^{+4}+(\text{Mn},\text{Fe})^{+2}$; $\text{Al}^{+3}\leftrightarrow\text{Cr}^{+3}$. Для шпинелидов из кимберлитов магнезиального типа (например, из трубки Айхал) подобный фактор — это $\text{Al}_{0,89}\text{Mg}_{0,86}\text{Mn}_{0,91}\text{Fe}_{0,89}^{+2}\text{Cr}_{0,79}\text{Ti}_{0,46}$, в котором наиболее значительным является шпинель-хромитовый изоморфизм миналов.

Обсудив основные методические подходы к составлению минералогического паспорта отдельного кимберлитового тела, зададимся вопросом,

насколько оправдана минералогическая паспортизация более крупных таксонов кимберлитового вулканизма — кустов и полей трубок. В основу выделения таксонов положен географический принцип — пространственная близость кимберлитовых тел и обособленность каждого из таксонов. Вещественный подход исследователями практически не рассматривался. До сих пор отсутствует общепринятая генетическая интерпретация групп кимберлитовых

тел, объединенных в куст или поле трубок. Нами сделано предположение, что группа трубок, объединенных в куст, представляет собой горизонтальную развертку сложно построенной многофазной трубки, для которой существовал единый мантийный очаг. Распространяя этот тезис на кимберлитовое поле, следует полагать, что его формирование обязано функционированию нескольких магматических очагов, соответствующих числу выделенных в нем кустов трубок.

Ставя задачу минералогической паспортизации куста или поля трубок, необходимо удостовериться, что каждый из выделенных таксонов действительно обладает индивидуализированным составом того или иного минерала. Выполненные нами исследования по изучению пространственного распределения состава пикроильменита показали, что все трубки одного куста характеризуются очень близким, практически тождественным составом ильменита, а разные кусты трубок — разным. Для кимберлитовых полей выяснилось, что типоморфным их отличием могут служить тренды составов пикроильменита. Таким образом, показано, что паспортизация кустов и полей трубок по пикроильмениту принципиально выполнима. Для куста трубок могут использоваться паспортные данные любой трубки из этого куста, а для поля трубок — максимально возможного числа известных трубок.

Несколько сложнее представляется проблема паспортизации кустов и полей трубок по гранатам и шпинелидам. Если происхождение пикроильменита связано, как нами показано [7], с единым источником, обусловленным формированием магматического кимберлитового очага, то попадание граната и хромшпинелидов в кимберлиты в основном случайно и обусловлено событиями дезинтеграции мантийного субстрата. Поэтому, изучая состав граната и отчасти хромшпинелидов из тяжелой фракции кимберлитов, получаем характеристику литосферного разреза верхней мантии, контактирующего с той или иной трубкой. Насколько трубки одного куста могут быть близки друг другу, насколько разные кусты в пределах одного поля могут отличаться друг от друга по составу граната — решение этих вопросов лежит в обосновании целесообразности составления минералогических паспортов куста трубок.

Составление паспорта по гранату зависит от цели исследования. Если паспорт необходим для поисковых работ, то представительным следует считать материал, отобранный только с самых верхних горизонтов трубки, как наиболее соответствующий тому материалу, который уже эродирован и служил источником ореольного граната. При

разработке модели формирования трубки, изучении особенностей состава литосферного разреза мантии необходимо провести опробование с максимально возможных глубинных уровней трубки.

При паспортизации трубок важен вопрос о представительности анализов того или иного минерала. Как показали наши исследования, необходимое и достаточное число зерен для паспортизации по пикроильмениту не превышает 100. Это обусловлено выдержанностью состава пикроильменита в пределах не только одного кимберлитового тела, но и в пределах куста трубок, независимостью состава ильменита от фаз внедрения и глубины изучаемого среза трубки. В отличие от пикроильменита гранат характеризуется чрезвычайной невыдержанностью состава даже в пределах отдельных кустов трубок, тем более в Далдынском поле в целом.

Полученные авторами материалы не позволяют судить о степени неравномерности распределения граната в пределах одной трубки, поскольку для каждой трубки имеется по одной пробе. Однако в многочисленных предыдущих исследованиях отмечается крайняя неравномерность распределения граната, зависящая, в первую очередь, от фаз внедрения. Даже в пределах одной разновидности кимберлита распределение граната неравномерно по количеству и спектру его разновидностей. Ксеногенная природа подавляющей части граната указывает на струйный и абсолютно случайный характер его попадания в кимберлитовый расплав-флюид, что и предопределяет особенности его распределения. Поэтому для корректного описания закономерностей распределения состава граната представительное число анализов должно быть не менее нескольких сотен. При этом выборки граната должны характеризовать разные фазы внедрения кимберлитов из разных глубинных уровней исследуемой трубки. Число анализов по гранату зависит от крупности исследуемого кимберлитового тела, его многофазности, т.е. для составления паспорта трубки в каждом конкретном случае требуется индивидуальный подход.

Полученные нами около 100 анализов для каждой трубки по составу граната показывают, что для определенных целей этого числа изученных зерен достаточно. Основным критерием «достаточности» служит повторяемость определенных характеристик распределения для разных трубок одного куста.

На основе изучения состава минералов-спутников из кимберлитов авторами проведена паспортизация практически всех трубок Далдынского поля, а также нескольких ореольных участков, расположенных в межтрубочном пространстве.

1. Средний состав пикроильменита из трубок кустов Зарница и Дальняя Далдынского поля

Кусты трубок	Трубки	Число анализов	Средний состав			
			Cr ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Mg#
Зарница	Невидимка	95	0,85	8,99	39,92	18,27
	Зарница	114	0,94	8,96	40,66	18,16
	Попугаевой	116	0,93	8,84	40,92	17,95
	Чебурашка	30	1,16	8,35	41,82	16,66
	Электра	105	0,97	9,2	40,52	18,63
	Аргыс	100	1,01	8,98	40,35	18,34
	Иксовая	123	0,93	9,22	40,64	18,04
Дальняя	Мамбо	110	0,84	10,7	36,79	22,63
	Ну-погоди!	78	0,8	11	36,94	23,06
	Угадайка	79	0,85	10,9	36,79	23,03
	Саратовская	101	0,77	11,3	36,38	23,71
	Жила-70	71	0,84	11,6	35,46	24,73
	Дальняя	82	0,8	10,9	36,41	23,05
	Жила-74	66	0,86	11,2	35,54	23,95

Примечание: Mg# = Mg/(Mg+Fe)·100; SFeO к, MgO к, Mg# к — параметры состава вмещающего кимберлита.

Усредненные параметры состава пикроильменита сведены в табл. 1.

Средние значения Cr₂O₃, MgO, Fe₂O₃, Mg# достаточно четко показывают состав пикроильменита из кимберлитов отдельных кустов трубок. Ильменит из разных трубок одного и того же куста характеризуется близкими значениями приведенных параметров, а из разных кустов имеет значимые отличия по одному из них.

Наиболее информативен, по нашему мнению, оксид Cr₂O₃. По его содержанию при отсутствии корреляции с другими оксидами ильменит разделяется на отдельные группы в пределах одной трубки. Эти группы прослеживаются в разных трубках одного куста. Разделение на группы наглядно демонстрируют гистограммы распределения Cr₂O₃ (рис. 3), а также графики корреляции данного оксида с другими параметрами состава пикроильменита. Именно наличие определенных групп по содержанию Cr₂O₃ в пикроильменитах из кимберлитов того или иного куста трубок является одной из важнейших характеристик его паспортных данных.

Особенности распределения состава граната отражены в паспортных данных для каждой из изученных кимберлитовых трубок. Ниже в качестве примера представлены данные только для трубок куста Зарница. При анализе паспортных данных для граната из разных трубок куста (табл. 2–4) вы-

яснялись особенности состава гранатов, общие для всех или, по меньшей мере, для большинства кимберлитовых тел куста. Это позволяет приблизиться к созданию единого паспорта всего куста. Судя по парагенетическим разрезам состава граната (см. табл. 2), трубки куста Зарница, за исключением трубок Алтайская и Макатойская, характеризуются варьирующими, но в определенной мере близкими содержаниями большинства парагенетических групп. В гранатах из трубок Алтайская и Макатойская отсутствует группа 2 (корового происхождения), минимально содержание группы 7 и максимально — 5. В этих же трубках самый высокий (по сравнению с другими трубками куста) процент содержания граната мегакристной ассоциации (26,2–42,6%). Они существенно отличаются по составу пикроильменита, что явилось основанием для исключения их из состава куста трубок. В какой-то мере самые удаленные (от основной трубки Зарница) трубки Аргыс, Иксовая и Невидимка являются промежуточными по характеристикам парагенетических разрезов. Наиболее высокие содержания гранатов алмазного парагенезиса в Далдынском поле установлены в трубках Попугаевой (7,3%), Невидимка (5,8%), Алтайская (5,43%) и Зарница (5,41%).

Идентификация коренных источников по паспортным данным ореолов проводилась путем их сравнения с паспортными данными уже известных

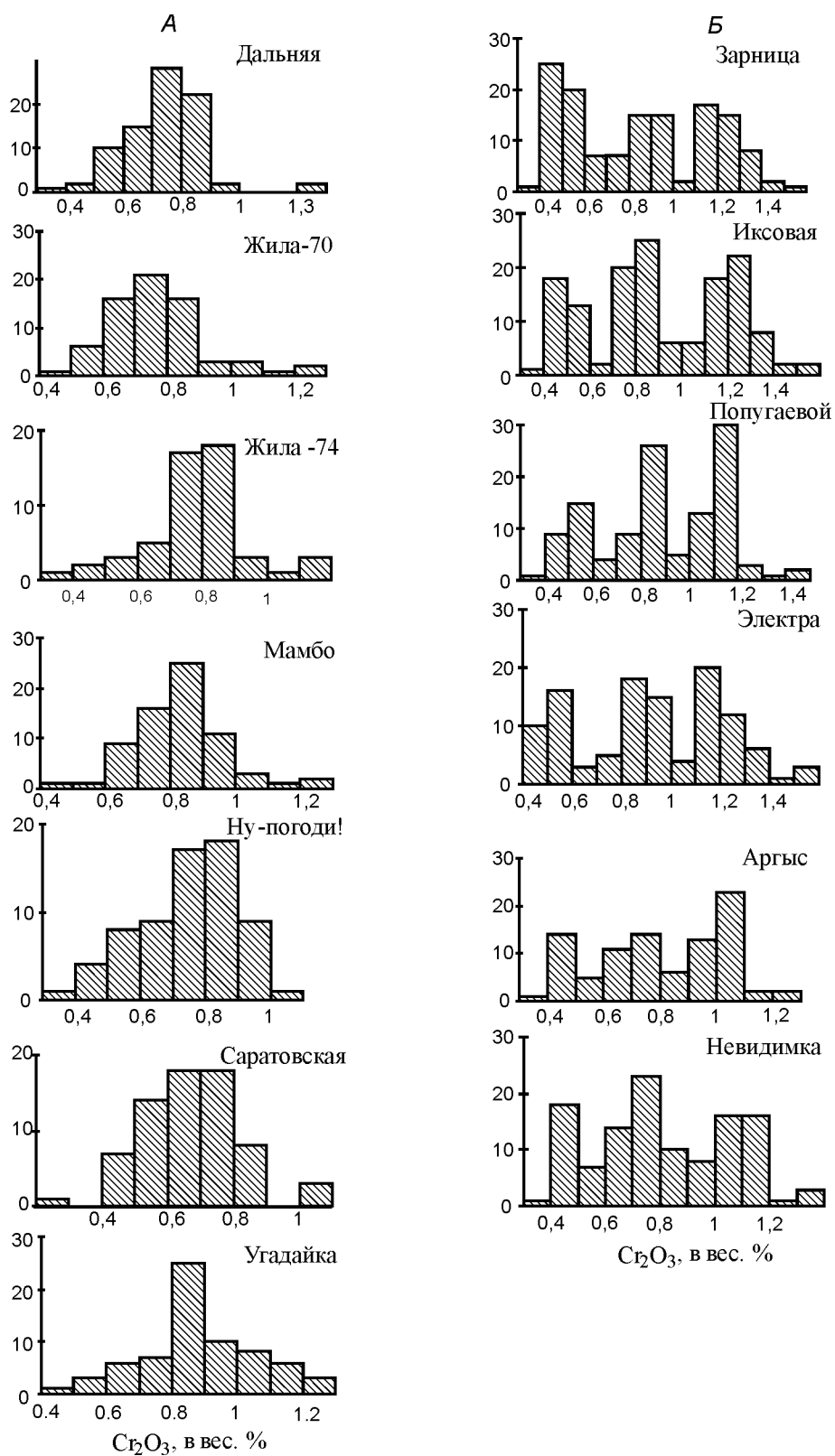


Рис. 3. Распределение содержания Cr_2O_3 в микрольменитах из трубок кустов Дальняя (А), Зарница (Б)

2. Разделение гранатов по парагенетическим группам на основе диаграммы Н.В.Соболева [8] в координатах CaO–Cr₂O₃ для разных трубок куста Зарница, %

Группа	Зарница (111)	Попугаевой (96)	Электра (91)	Аргыс (107)	Иксовая (86)	Неведимка (103)	Алтайская (129)	Макатойская (103)	Чебурашка (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
	100	100	100	100	100	100	100	100	100
9	5,41	7,29	2,2	1,87	3,64	5,83	5,43	0,97	2,33

Примечание. Здесь, а также в табл. 6, 8, 9 цифры в скобках — число анализов.

3. Средний состав гранатов мегакристной ассоциации из разных трубок куста Зарница

Оксиды	Зарница 10/9,0*	Попугаевой 8/8,3	Электра 3/3,3	Аргыс 21/19,6	Иксовая 19/17,3	Неведимка 17/16,5	Алтайская 55/42,6	Макатойская 27/26,2	Чебурашка
SiO ₂	41,72	41,66	42,38	41,92	41,43	41,98	42,23	42,43	41,98
TiO ₂	0,89	0,63	0,76	1,14	0,68	0,7	0,61	0,62	0,69
Al ₂ O ₃	20,2	20,24	20,51	20	20,62	20,6	20,6	21,04	20,22
Cr ₂ O ₃	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 ₂ O	0,06	0,04	0,07	0,05	0,05	0,04	0,06	0,06	0,04

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

4. Разделение гранатов на группы по содержанию Cr₂O₃ для разных трубок куста Зарница

Группа	Зарница	Попугаевой	Электра	Аргыс	Иксовая	Неведимка	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

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

кимберлитовых трубок. Шлиховые пробы, отобранные Амакинской экспедицией с ореольных участков 8 (район куста трубки Зарница) и 13 (район куста трубки Аэромагнитная) в пределах Далдынского поля, в Институте геохимии СО РАН объединялись в единую пробу, поскольку в каждом из шлихов содержалось небольшое число зерен минералов-спутников. При объединении шлихов 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 данных по составу минералов проводилась

по схеме, использованной для паспортизации трубчатых тел Далдынского поля. Заметим, что отсутствие значимых отличий по типохимизму пикроильменита из разных трубок куста существенно ограничивает возможность использования данных по ореолам рассеяния этого минерала-спутника в целях привязки к определенному коренному источнику. Ореольный пикроильменит можно связывать только с определенным кустом трубок.

Участок 8 (куст трубки Зарница) охарактеризован тремя пробами, отобранными в 250 м северо-восточнее (8-1 объединяет два шлиха) и в 500 м восточнее (8-2 объединяет пять шлихов) трубки Аргыс, в 250 м севернее (8-3 объединяет пять шлихов) трубки Электра. Из табл. 5 видно, что состав

5. Усредненные данные состава пикроильменита из ореольного участка 8 и ближайших трубок

Пробы	Число анализов	Cr ₂ O ₃ , вес. %	MgO, 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

Примечание. ОВП= $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})\cdot 100$.

6. Разделение гранатов по парагенетическим группам на основе диаграммы Н.В.Соболева [8] в координатах CaO–Cr₂O₃ 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

пикроильменита всех трех проб соответствует паспортным характеристикам пикроильменита из трубок куста Зарница как по средним параметрам состава, так и трехпиковому распределению Cr₂O₃ в гистограммах.

Соотношение парагенетических групп граната в пробах 8-1, 8-2 достаточно близко таковому (табл. 6) для граната из ближайшей трубки Аргыс, которая, по-видимому, служила коренным источником для минералов-спутников ореола. Составы гранатов из пробы 8-3 и ближайшей трубки Электра очень близки. Таким образом, из результатов изучения состава минералов-спутников следует вывод, что ореольный участок 8 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. 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. Все шлихи характеризуются определенным дефицитом зерен граната, что не позволило набрать их представительное число для анализа. В табл. 7 и 8 сопоставлены составы пикро-

ильменита и граната из этих проб и ближайших к ним трубок.

В двух пробах (13-1 и 13-6646) состав пикроильменита несколько иной, чем в ближайших кимберлитовых трубках Эндир и Мастахская — наиболее вероятных коренных источниках данных ореолов. В кусте трубки Аэромагнитная пока неизвестны тела с пикроильменитом подобного состава — высокое содержание Cr₂O₃ в пробе 13-1 и MgO в пробе 13-6646. Гистограммы распределения Cr₂O₃, 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 нами все же сделаны. По близости соотношения парагенетических групп граната в пробах 13-1 и из трубки Эндир считаем, что гипотеза о данной трубке как коренном источнике не может быть отвергнута. Что касается других двух проб граната (13-2 и 13-6646), то их «парагенетические разрезы» существенно отличаются от таковых (см. табл. 8) для граната 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

7. Усредненные данные состава пикроильменита из ореольного участка 13 и ближайших трубок

Пробы	Число анализов	Cr ₂ O ₃ , 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

8. Разделение гранатов по парагенетическим группам на основе диаграммы Н.В.Соболева [8] в координатах CaO–Cr₂O₃ 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

9. Состав пикроильменита из разных алмазоносных полей Якутской провинции

Оксиды	Малоботуобинское (1600)	Далдынское (4213)	Алакит-Мархинское (695)	Вехне-Мунское (409)
TiO ₂	<u>45,8</u> 28,5–36,5	<u>48,0</u> 38,4–55,2	<u>47,7</u> 41,5–53,1	<u>48</u> 37,7–59,5
Al ₂ O ₃	<u>0,6</u> 0–4	<u>0,53</u> 0–1,9	<u>0,43</u> 0–1,3	<u>0,55</u> 0–3,8
Cr ₂ O ₃	<u>1,0</u> 0,1–9	<u>1,0</u> 0,2–14,5	<u>1,3</u> 0–6,1	<u>1,5</u> 0,1–12,6
Fe ₂ O ₃	<u>18,8</u> 0–43,4	<u>14,5</u> 1,8–29,2	<u>13,6</u> 1,4–23,9	<u>13,9</u> 0–28,3
FeO	<u>24,7</u> 8–44,5	<u>25,6</u> 14,1–30,9	<u>25,7</u> 17,4–39,8	<u>25,8</u> 9–30,2
MnO	<u>0,16</u> 0,1–2,4	<u>0,25</u> 0,1–1,1	<u>0,25</u> 0,2–0,5	<u>0,22</u> 0,1–1,0
MgO	<u>8,8</u> 0–15,6	<u>9,8</u> 4,9–16,2	<u>9,5</u> 3–15,6	<u>9,7</u> 6,5–18,1

Примечание. В числителе — среднее, в знаменателе — интервал вариации состава.

ва минералов-спутников можно сделать вывод, что изученные пробы ореольного участка 13 были сформированы за счет разрушения неизвестных ранее коренных источников. Наиболее перспективным является участок, соответствующий пробе 13-6646.

Неоднократные попытки исследователей [2, 3, 8] определить особенности состава ильменитов из

отдельных полей, по существу, не увенчались успехом. Причина неудач обнаружить своеобразие состава пикроильменита из разных полей, по нашему мнению, в том, что исследователи акцентировали основное внимание на сопоставлении статистических параметров распределения состава. Между тем, общей особенностью составов ильменитов из разных полей является (табл. 9) их достаточно вы-

держанный однородный состав. При широких вариациях содержания основных оксидов ильмениты из разных полей, за исключением Малоботубинского, характеризуются очень близким усредненным составом.

Гораздо более информативным является рассмотрение трендов изменчивости состава ильменита. На основе представительной базы данных нами построены графики распределения состава ильменитов из разных алмазоносных полей в координатах $MgO-Cr_2O_3$ (см. рис. 3). Видно, что для каждого из рассмотренных полей распределение состава пикроильменита очень своеобразно. Именно это своеобразие, наличие в каждом из алмазоносных кимберлитовых полей ильменита с четко индивидуализированными характеристиками кристаллизационных трендов и позволяет считать последние составной частью минералогического паспорта того или иного поля. Выводы о принадлежности любого ореола пикроильменита к конкретному полю следует делать не на основе статистического анализа данных по содержанию тех или иных оксидов минерала, а путем сравнения формы трендов состава.

Обобщение паспортных данных, полученных практически для всех известных трубок Далдынского поля, оказалось весьма эффективным и в научном плане. Анализ усредненных данных по составу пикроильменита из кимберлитовых тел поля, рассмотрение гистограмм распределения состава ильменита в этих телах привел авторов к фундаментальным выводам.

Во-первых, ильменит может быть использован для расшифровки структуры кимберлитового поля. Близость, практически тождественность состава пикроильменита для разных трубок одного куста может служить критерием принадлежности трубки к определенному кусту. Более того, по составу ильменита можно судить о неоднородности состава астеносферного слоя под кимберлитовыми полями, который существовал в момент их формирования.

Во-вторых, получены новые данные о происхождении пикроильменита. Большинство отечественных и зарубежных исследователей происхождение макрокристаллического ильменита связывают с дезинтеграцией мантийных ильменитсодержащих пород. Своеобразие состава пикроильменита, проявляющееся для всех трубок поля, характерные особенности распределения малых оксидов Cr_2O_3 и Al_2O_3 в разных кустах кимберлитовых трубок указывают на общий источник вещества расплава, который соотносим с астеносферным. С другой стороны, своеобразие состава пикроильменита в пределах каждого куста трубок (по содержанию MgO и

Cr_2O_3) отражает специфику магматического расплава, из которого они кристаллизовались. Возникновение такого гибридного расплава связывается нами с формированием магматического кимберлитового очага для каждого куста трубок. Таким образом, проведенная паспортизация трубок, полученные данные о распределении состава пикроильменита не согласуются с распространенной гипотезой его ксеногенного происхождения.

Паспортизация кимберлитового поля по составу граната, основанная на расчете представительной коллекции граната (несколько тысяч зерен), с высокой степенью достоверности характеризует разрез верхней мантии под разными полями, указывая на ту или иную роль участия в них разных гранатсодержащих парагенезисов.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ, интеграционные гранты СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багдасаров Э.А. Сравнительная характеристика и особенности вариаций состава акцессорных хромшпинелидов // Состав и свойства глубинных пород земной коры и верхней мантии платформ. М., 1983. С. 191–221.
2. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. – М.: Изд-во МГУ, 1984.
3. Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францесон Е.В. Геохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1978.
4. Кимберлиты и кимберлитоподобные породы. Кимберлиты — ультрасосновная формация древних платформ / Б.М.Владимиров, Л.В.Соловьева, А.И.Киселев и др. – Новосибирск: Наука, 1990.
5. Новые технологии разведки алмазных месторождений / В.В.Кротков, Г.П.Кудрявцева, О.А.Богатиков и др. – М.: ГЕОС, 2001.
6. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах. – Новосибирск: Наука, 1974.
7. Структура Далдынского поля — вещественный аспект проблемы / С.И.Костровицкий, Н.В.Алымова, А.С.Иванов и др. // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 300–306.
8. Типоморфизм ильменитов глубинных магматических пород / Ю.С.Генштафт, И.П.Илупин, В.М.Кулигин и др. // Состав и свойства глубинных пород земной коры и верхней мантии. М., 1983. С. 95–190.
9. Типоморфизм ильменита из кимберлитов Мало-Ботубинского поля (Якутская алмазоносная провинция) / Г.П.Кудрявцева, А.В.Бовкун, В.К.Гаранин и др. // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, 2003. С. 224–228.
10. Тренды изменчивости состава мегакристов граната из алмазосодержащих и неалмазоносных кимберлитовых трубок (Якутия, Россия) / С.И.Костровицкий, Р.Х.Митчелл, Р.Н.Иванова и др. // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 2. С. 444–453.
11. Шпинелиды мантийных пород / С.С.Мацюк, А.Н.Платонов, Э.В.Польшин и др. – Киев: Наук. думка, 1989.
12. Dawson J.B., Stephens W.E. Statistical analysis of garnets from kimberlites and associated xenoliths // J. Geol. 1975. Vol. 83. P. 589–607.
13. Mitchell R.H. Kimberlites: mineralogy, geochemistry and petrology. – New York: Plenum Press, 1986.