

Е. Е. ЛАЗЬКО, В. П. СЕРЕНКО

**МИНЕРАЛОГИЯ, ПАРАГЕНЕЗИС  
И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ГРАНАТОВ  
ИЗ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК СИБИРИ**

Исследования, связанные с изучением вещественного состава и строения верхней мантии Земли по ксенолитам ультраосновных пород и эклогитов, вынесенных к поверхности различными типами основных и ультраосновных магм, имеют большое значение для построения правильной петрологической модели верхней мантии и понимания происходящих в ней процессов. Среди глубинных пород особенный интерес представляют парагенезисы, содержащие гранат, так как состав этого минерала является своеобразным индикатором тех физико-химических условий, которые существовали в среде его кристаллизации. Поэтому гранатам глубинного, предположительно мантийного происхождения (это распространенное мнение разделяют и авторы настоящей статьи), в особенности гранатам из кимберлитовых тел, уделяется пристальное внимание: выяснению состава, физических свойств и генезиса этого минерала из основной массы кимберлита и различных типов ксенолитов, вынесенных из глубин Земли, посвящено большое количество работ советских и зарубежных исследователей.

Целью настоящей статьи является изложение новых данных, полученных при изучении гранатсодержащих пород из кимберлитовых трубок Якутии. Мы также попытались получить на обширном материале новые факты, которые свидетельствовали бы в пользу той или иной гипотезы происхождения граната в кимберлитах, так как проблема эта до сих пор окончательно не решена (Лазько, 1971).

Опыт показывает, что такой сложный вопрос, как генезис минералов кимберлитов, лучше рассматривать на примере конкретных месторождений, а не обширных алмазоносных районов, в которых отдельные трубки резко различаются по химическому и минералогическому составу. Поэтому в качестве объектов исследования были избраны две хорошо изученные кимберлитовые трубки Якутской алмазоносной провинции: «Удачная» и «Мир». В распоряжении авторов имелись представительные коллекции образцов для каждой из этих трубок, что позволило получить статистически достоверный материал.

Для решения проблемы генезиса граната в кимберлитах наиболее просто было бы сопоставить химические характеристики гранатов из различных типов ксенолитов с химическим составом гранатов из основной массы кимберлитов. Однако, из-за специфических особенностей последних (небольшой размер большинства зерен минералов-вкрапленников и высокая степень вторичного изменения пород), классический подход к изучению состава отдельных фаз с помощью химических методов

анализа является непригодным. Ранее было показано (Лазько, 1971), что хорошие результаты в большинстве случаев дает косвенное решение проблемы, а именно, определение компонентного состава гранатов по физическим характеристикам (размеру ребра элементарной ячейки  $a_0$  и показателю преломления  $Ng$ ) с использованием диаграмм состав—свойство. Так как исследование состава минералов с помощью локального рентгеноспектрального анализа до сих пор не получило широкого распространения в практике минералогических исследований, мы воспользовались уже проверенной упомянутой методикой косвенного определения химизма гранатов оптико-рентгеновским способом с помощью известной диаграммы Х. Винчелла (Winchell, 1958).

Известно, что большинство гранатов из кимберлитовых и встречающихся совместно с ними иных пород по составу чаще всего отвечает пироп — альмандину с примесями либо уваровита, либо гроссуляра, при незначительном участии остальных компонентов, из которых главную роль играет андрадит (Соболев, 1964а). Эти две большие группы разделяются и по физическим характеристикам, причем гранаты первой группы, как правило, окрашены в фиолетовый, малиновый и вишневый цвет, а второй — в оранжевый и красный. Подобное разделение имеет глубокий генетический смысл, так как гранаты первой группы (хромо-вые) относятся в подавляющем большинстве случаев к ассоциациям резко ультраосновного типа, а гранаты второй группы часто наблюдаются в породах, имеющих более основной характер. При пересчетах близость физических свойств андрадита и уваровита позволяет объединять их в один компонент (Rickwood *a. oth.*, 1968) без внесения значительной погрешности в окончательный результат.

Таким образом, большинство гранатов, встречающихся в кимберлитовых породах, в первом приближении можно рассматривать как трехкомпонентные смеси, для которых определение состава по диаграмме Винчелла дает вполне удовлетворительные результаты. Вместе с тем необходимо отметить, что детальное исследование гранатов из концентратов обогащения кимберлитов Сибири и Африки в последние годы (Харьков, 1970; Nixon, Hornung, 1968; Sobolev *a. oth.*, 1973; Gurney, Switzer, 1973), наряду с исследованием включений в алмазах, позволило обнаружить образцы с чрезвычайно высоким содержанием кноррингитового компонента (до 50 мол. % и более). Определение состава таких гранатов по диаграмме Винчелла не может быть удовлетворительным, ввиду того, что они являются четырехкомпонентными. Поэтому для подобных гранатов Н. В. Соболевым (Соболев и др., 1973) предложена специальная диаграмма, учитывающая приблизительно одинаковую железистость гранатов перидотитов и позволяющая определять содержание в гранате пироба, уваровита и кноррингита.

Методика определения физических характеристик гранатов детально изложена в предшествующей работе одного из авторов (Лазько, 1971). Всего нами определены  $a_0$  и  $N$  271 отдельного зерна граната из различных типов ксенолитов и из основной массы кимберлита трубки Удачная и те же константы для 193 зерен гранатов из трубки Мир, также из различных типов включений и гранатов — ксенокристаллов в кимберлитовой основной массе.

Полученные результаты мы нанесли на диаграмму Винчелла и получили точки компонентного состава гранатов (рис. 1—4). Анализ и сопоставление картин распределения точек составов гранатов из кимберлитов и различных типов ксенолитов дали возможность высказать суждения о генезисе граната в кимберлитах. Той же цели служила статистическая обработка результатов проведенных измерений.

Среди разнообразных гранатсодержащих пород, встреченных в кимберлитовых трубках Сибири, наибольшим распространением пользуется обширная группа ксенолитов ультрабазитов. По структурно-текстурным

признакам они прежде всего подразделяются на равномернозернистые и породы порфирового облика. В свою очередь, среди равномернозернистых ультрабазитов выделяются содержащие и не содержащие хромшпинелиды породы. В ультрабазитах порфирового облика хромшпинелиды нами не наблюдались. В качестве отдельной разновидности можно выделить гранатизированные шпинелевые перидотиты со сложной историей кристаллизации (Соболев, 1968).

Таким образом, все гранатосодержащие ксенолиты ультрабазитов по структурно-текстурным признакам и составу можно разделить на следующие типы (выделены курсивом).

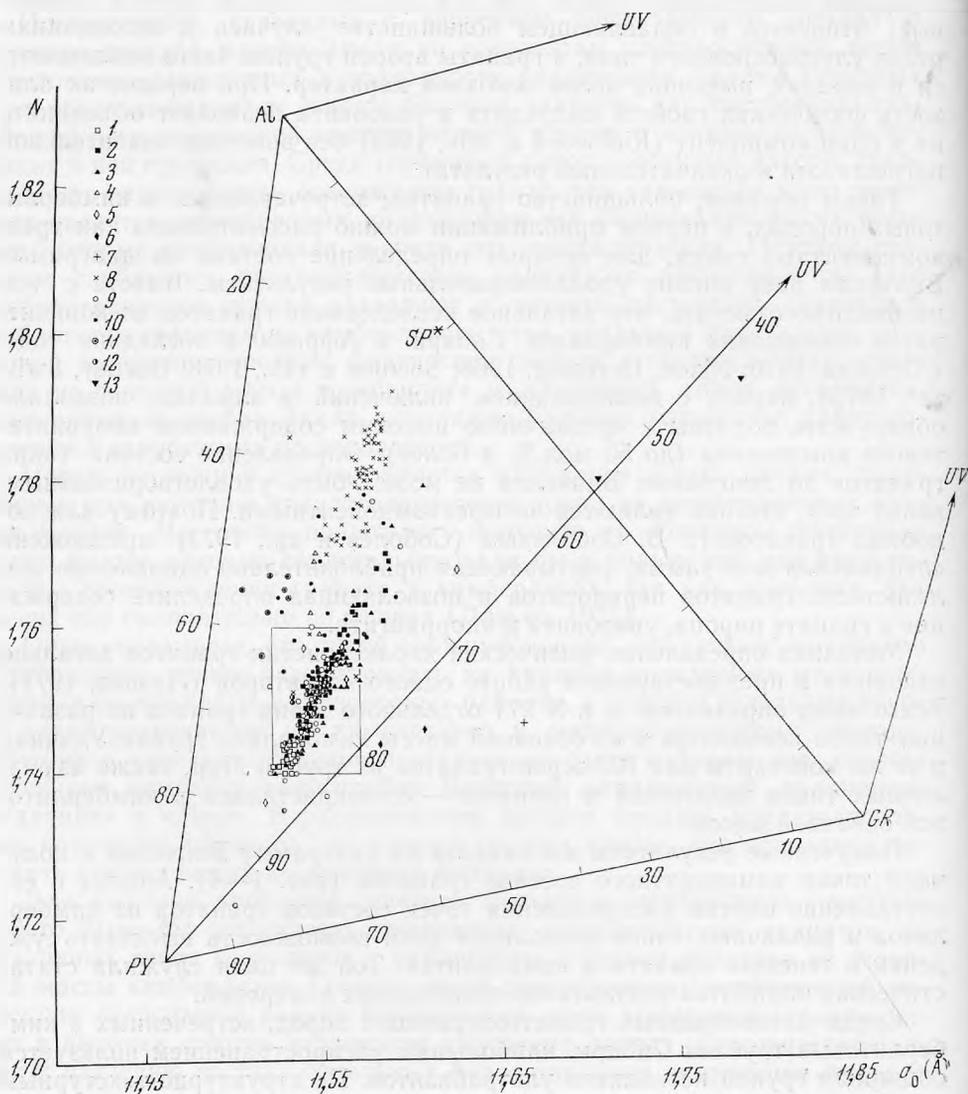
I. Равномернозернистые оливинсодержащие ультрабазиты.

A. Содержащие хромшпинелиды:

- а) дуниты;
- б) перидотиты;
- в) гранатизированные шпинелевые перидотиты.

Б. Не содержащие хромшпинелиды:

- а) оливиниты;
- б) перидотиты.



II. Порфиновые оливинсодержащие ультрабазиты.

III. Безоливиновые ультрабазиты (пироксениты).

*Равномернозернистые гранатовые ультрабазиты с хромшпинелидом* представлены ассоциациями гранат+хромшпинелид+оливин (дуниты), гранат+хромшпинелид+оливин+клинопироксен (верлиты), гранат+хромшпинелид+оливин+ортопироксен (гарцбургиты), гранат+хромшпинелид+оливин+клинопироксен+ортопироксен (лерцолиты). Гранат наблюдается в виде скоплений и отдельных зерен размером 0,6—4,0 мм, окруженных тонкими келифитовыми оболочками. Отдельные мелкие зерна почти нацело замещаются черным и темно-бурым агрегатом неопределимых под микроскопом минералов. Внешняя кайма почти всегда прерывистая и сложена мелкочешуйчатым бледно-коричневым флогопитом. В некоторых гранат-шпинелевых гарцбургитах вокруг зерен энстатита наблюдаются реакционные каймы граната, которые образованы, вероятно, в соответствии с реакцией  $4 \text{ энстатит} + \text{шпинель} \rightleftharpoons \text{форстерит} + \text{гранат}$  (Мак-Грегор, 1968), хотя хромшпинелид и не имеет непосредственного контакта с зернами энстатита. Гранат перидотитов изредка включает хромшпинелид, клинопироксен, рудный минерал.

Гранатизированные шпинелевые перидотиты, состоящие из хромшпинелида, энстатита, клинопироксена, граната и оливина, распространены преимущественно в кимберлитовых телах севера Сибирской платформы (Соболев, 1968). По данным В. А. Милашева (1960, 1972), содержание граната, форма его выделений, состав и физические свойства



Рис. 1. Распределение гранатов из различных типов ксенолитов и из основной массы кимберлита трубки «Удачная» на диаграмме Винчелла

- 1 — оранжевые и красные из порфирированных перидотитов;
- 2 — малиновые и фиолетовые из порфирированных перидотитов;
- 3 — из равномернозернистых оливинсодержащих ультрабазитов;
- 4 — из пироксенитов;
- 5 — из биминеральных эклогитов;
- 6 — из алмазосных эклогитов;
- 7 — из дистенового эклогита;
- 8 — из кристаллических и эклогитоподобных пород;
- 9 — оранжевые и красные из кимберлита;
- 10 — малиновые и фиолетовые из кимберлита;
- 11 — гранаты-включения в оливине из кимберлита;
- 12 — оранжево-красные крупные (>10 мм) желваки из кимберлита;
- 13 — зеленые гранаты из кимберлита

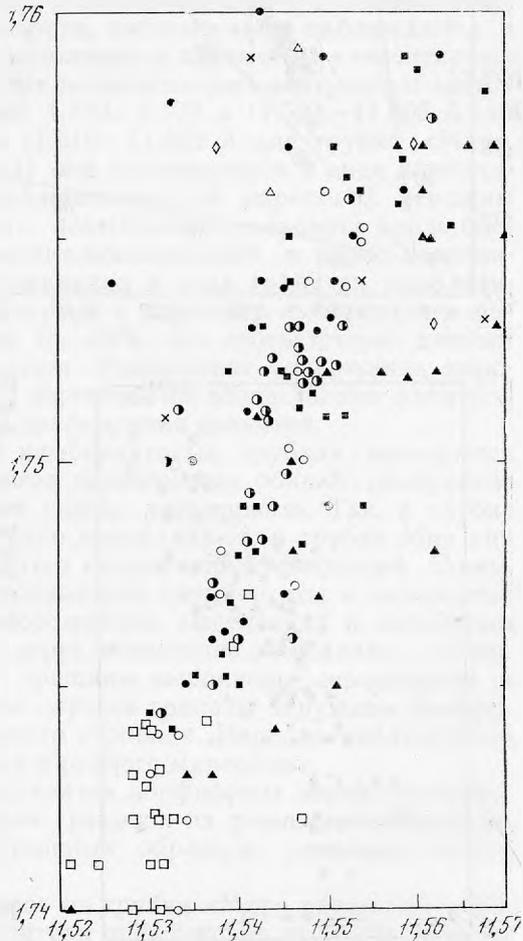


Рис. 2. Деталь рис. 1. Условные обозначения см. рис. 1

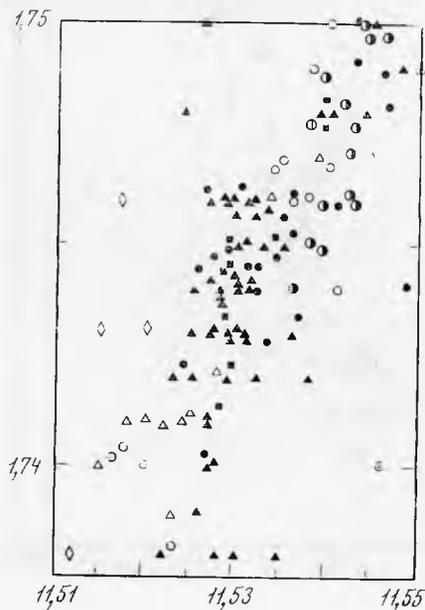
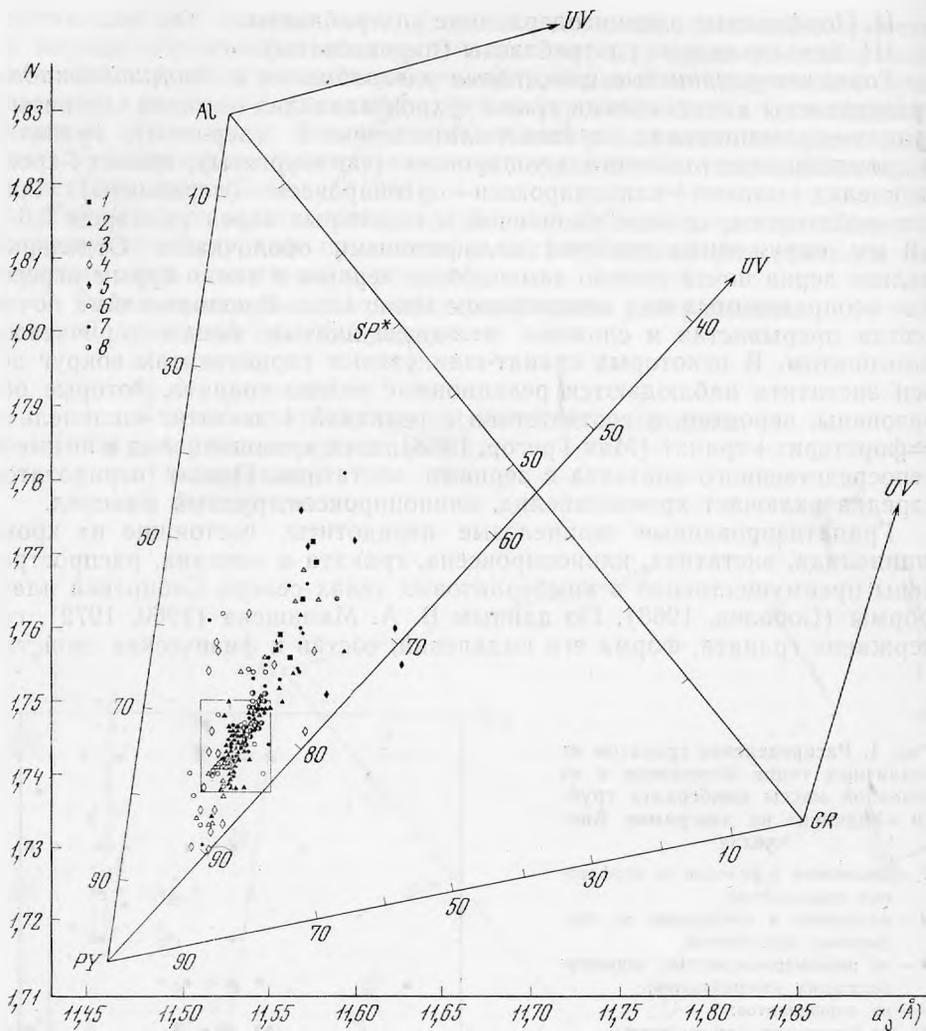


Рис. 3. Распределение гранатов из различных типов ксенолитов и из основной массы кимберлита трубки «Мир» на диаграмме Винчелла

1 — из перидотитов порфиروهоблика; 2 — из равномернозернистых оливинсодержащих ультрабазитов; 3 — из пироксенитов; 4 — из биминеральных эклогитов; 5 — из алмазосных эклогитов; 6 — оранжевые и красные из кимберлита; 7 — малиновые и фиолетовые из кимберлита; 8 — оранжево-красные крупные (10 мм) желваки из кимберлита

Рис. 4. Деталь рис. 3. Обозначения см. рис. 3

в ксенолитах гранатизированных шпинелевых перидотитов различны. Гранат представлен как изометричными выделениями, так и прожилками между зернами оливина, пироксенов и хромшпинелида. Гранат изометричных выделений окрашен в фиолетовый цвет и содержит 70—75% пиропового компонента ( $N=1,737-1,746$ ).

Красный и оранжево-красный гранат прожилков является значительно более железистым и кальциевым при уменьшающейся роли пиропы ( $N=1,740-1,757$ ).

*Бесшпинелевые гранатсодержащие оливиновые породы* подразделяются на оливиниты и перидотиты. Гранатовые оливиниты сложены преимущественно оливином с небольшим количеством граната (1—10%). Гранат оливинитов представлен зернами овальной формы размером 1—3 мм в поперечнике. Вокруг зерен развиты келифитовые каймы, имеющие зональное строение. Гранатовые перидотиты образуют те же три парагенетические ассоциации (верлиты, гарцбургиты и лерцолиты), что и ксенолиты с хромшпинелидом. Верлитовый парагенезис встречается редко, но является наиболее богатым гранатом (до 30%), в то время как в гарцбургитах и лерцолитах содержание граната не превышает 5—10%. Гранаты перидотитов наблюдаются в виде изометричных и неправильной формы зерен размером 1—7 мм или образуют скопления из нескольких зерен. Гранат интенсивно трещиноват и почти всегда окружен келифитовой каймой толщиной 0,1—0,2 мм. Изредка в нем присутствуют включения клинопироксена.

**Гранаты полнокристаллических оливинсодержащих ультрабазитов** окрашены в фиолетовый, малиновый и вишневый цвет с различными оттенками. Нередки дихроичные разности, которые чаще наблюдаются в трубке «Удачная». Показатели преломления и параметры элементарных ячеек гранатов равномернозернистых оливинсодержащих ультрабазитов колеблются в следующих пределах: 1,740—1,778 и 11,521—11,605 Å для трубки «Удачная»; 1,734—1,763 и 11,516—11,592 Å для трубки «Мир». На диаграмме Винчелла (рис. 1—4) они группируются в виде компактной полосы, протягивающейся приблизительно от пироповой вершины треугольника PY—AL—UV (пироп — альмандин — уваровит) вдоль биссектрисы угла, образованного пироп-альмандиновой и пироп-уваровитовой сторонами. Содержание альмандина в этих гранатах приблизительно постоянное, количества же пиропы и уваровита изменяются в широких пределах. Пироп составляет 75—60%, что соответствует данным опубликованных химических анализов. Уменьшение содержания пиропового компонента сопровождается постепенным возрастанием размеров элементарных ячеек и показателей преломления гранатов.

Широким распространением в кимберлитовых трубках пользуются ксенолиты *гранатовых ультрабазитов порфиривого облика* (Бобриевич и др., 1964). Количество их может сильно варьировать. Так, в трубке «Удачная» порфириновые разности явно преобладают, в трубке Мир они играют подчиненную роль и являются скорее порфиривидными. По минеральному составу выделяются гранатовые гарцбургиты и лерцолиты.

Гранат встречается только в порфириковых выделениях и составляет 5—8% объема породы. Размер его зерен изменяется в пределах 1—8 мм. Гранат обычно катаклазирован и трещины выполнены серпентином и рудным минералом. В большинстве случаев гранаты окружены келифитовыми каймами радиально-лучистого строения. Нередко наблюдаются включения моноклинного пироксена и рудного минерала.

На диаграмме Винчелла поле гранатов порфириковых перидотитов совпадает с областью распространения гранатов из равномернозернистых ультрабазитов, т. е. химизм изученных образцов довольно близок (рис. 1—4).

**Гранаты порфириковых перидотитов** из трубки «Мир» окрашены в фиолетовый и малиновый цвет. Показатели преломления их изменяются от

1,741 до 1,771, что соответствует 80—50% пироба; параметры элементарных ячеек колеблются от 11,527 до 11,576 Å.

В пределах группы порфировых перидотитов из трубки Удачная четко выделяются две цветовые разновидности граната (рис. 1—2): оранжевые и красные, с одной стороны, фиолетовые и малиновые — с другой. Между этими окрасками наблюдаются непрерывные переходы, так что иногда оказывается затруднительным отнести гранат к той или иной разновидности<sup>1</sup>.

У оранжевых гранатов  $a_0$  и  $N$  изменяются в незначительных пределах: 11,521—11,541 Å и 1,740—1,747 соответственно, что свидетельствует о близости их химической конституции. Содержание пироба в этих гранатах выше 74% (определение по диаграмме). Фиолетовые гранаты характеризуются повышенными значениями  $a_0$  и  $N$ : 11,530—11,587 Å и 1,744—1,774 соответственно; пироба в них не более 74%. Смена окраски от оранжевой через красную к малиновой и фиолетовой происходит в области, соответствующей ~74% пиробовой молекулы; это явление связано с возрастанием роли хрома в структуре граната, что сопровождается увеличением параметров элементарных ячеек и показателей преломления.

Химизм гранатов из оливиновых ультрабазитов детально рассмотрен в ряде работ (Соболев, 1964а, 1968; Францессон, 1968; Frick, 1972). Согласно опубликованным к концу шестидесятых годов данным, все гранаты из оливиновых ультрабазитов (лерцолитов) характеризуются сходным составом. Они являются существенно пиробовыми, иногда со значительной (до 5%) примесью  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (5—10% Cr-компонента). Содержание кальциевого компонента в гранатах всех разновидностей пород колеблется в пределах 9—17%, железистость составляет 10—20% (табл. 1, ан. 1—2).

Новые данные (Соболев и др., 1969; Соболев, Кузнецова, 1972; Nixon, Hognung, 1968; Sobolev a. oth., 1973; Gurney, Switzer, 1973) значительно расширили прежние представления о колебаниях химического состава гранатов ультрабазитов, в первую очередь, о вариациях их хромистости и кальциевости.

Установлено, что примесь  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в гранатах порфировых перидотитов трубки «Удачная» доходит до 13%, что соответствует 40—45% хромового компонента. Содержание  $\text{CaO}$  в гранатах ультрабазитов колеблется в еще более широких пределах: от 1,93 до 19,0 вес.%. Железистость увеличивается с возрастанием в гранатах кальция приблизительно от 13 до 30%.

Исходя из зависимости кальциевости граната от минерального парагенезиса, для ксенолитов оливинсодержащих ультрабазитов в кимберлитах доказано (Соболев и др., 1973) присутствие трех парагенетических ассоциаций: лерцолитовой, дунит-гарцбургитовой и верлитовой. Основная масса ксенолитов гранатсодержащих ультрабазитов, изученных в настоящей работе, относится к лерцолитовой ассоциации. К ней принадлежит подавляющее большинство ксенолитов порфировых и значительная часть равномернозернистых включений. Гранаты из пород этой ассоциации характеризуются положительной корреляцией содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с их кальциевостью.

Кальциевость гранатов дунит-гарцбургитового парагенезиса изменяется от очень низких величин до кальциевости лерцолитов. Недостаток Ca в них четко фиксируется пониженными размерами элементарных ячеек при высоких показателях преломления.

Гранаты из ксенолитов верлитов характеризуются очень высоким содержанием хромового и кальциевого компонента, высокими значения-

<sup>1</sup> Далее в тексте и таблицах мы именуем гранаты первой разновидности оранжевыми, а второй — фиолетовыми.

ми  $a_0$  и  $N$  и ярко-зеленым цветом. Для некоторых гранатов этой ассоциации кальциевость может снижаться, что сопровождается изменением окраски до малиновой (Соболев и др., 1973).

Сказанное позволяет уточнить область применения диаграммы Винчелла в целях настоящего исследования. Высокая хромистость гранатов, относящихся к дунит-гарцбургитовому парагенезису, обуславливает появление в их составе значительных количеств кноррингитового компонента. Определение компонентного состава таких гранатов по диаграмме становится ошибочным из-за того, что кноррингитовый компонент определяется как альмандин. Вместе с тем, эта диаграмма пригодна для определения парагенетической принадлежности граната. Так как в гранатах лерцолитов рост хромистости происходит параллельно с возрастанием их кальциевости, именно эти гранаты и группируются в виде компактной полосы на треугольнике пироп-альмандин — уваровит. Точки составов гранатов дунит-гарцбургитового парагенезиса, благодаря пониженной кальциевости при сохранении высокой хромистости, будут располагаться слева от области точек составов гранатов из лерцолитов. Чрезвычайно высокая кальциевость гранатов верлитов приводит к смещению точек составов этих гранатов вправо от поля гранатов лерцолитов, к пироп-уваровитовой стороне треугольника; определение компонентного состава этих гранатов достоверно и по диаграмме Винчелла.

Большинство гранатов, изученных нами, относится к лерцолитовому парагенезису. Лишь отдельные образцы принадлежат дунит — гарцбургитовой и, возможно, верлитовой ассоциациям.

В работах последних лет детально изучена еще одна группа гранатов, часть из которых тесно примыкает по свойствам к гранатам оливковых ультрабазитов, а именно, *гранаты — включения в алмазах* (Соболев и др., 1969, 1970, 1971; Meyer, 1968; Meyer, Boyd, 1972). Они, в свою очередь, разделяются на две большие подгруппы. К одной относятся гранаты фиолетовой и лиловой окраски, с высоким содержанием хрома и переменной кальциевостью — от очень низкой (1,09% CaO) до весьма высокой (13,5% CaO). Все эти гранаты относятся к ассоциациям ультраосновного характера. Гранаты другой разновидности характеризуются оранжево-желтым цветом, очень низкими концентрациями  $Cr_2O_3$  и переменными железистостью и кальциевостью; они близки к гранатам алмазонасных эклогитов, рассмотренных далее.

Большинство изученных до настоящего времени гранатов-включений в алмазах обладает высокой хромистостью при низкой кальциевости и относится к дунит-гарцбургитовому парагенезису. К этим гранатам близки по свойствам изученные нами *гранаты-включения в оливинах* из кимберлита трубки «Удачная» (Лазько, Афанасьев, 1974). Они характеризуются фиолетовой окраской, высокими показателями преломления и переменными размерами элементарных ячеек. На треугольнике пироп-альмандин — уваровит гранаты-включения в оливинах образуют небольшое поле слева от области распространения гранатовых перидотитов (лерцолитов), частично перекрывающееся с последней (рис. 1). Такое расположение точек составов на диаграмме говорит о том, что гранаты этого типа занимают по химизму промежуточное положение между гранатами дунит-гарцбургитового и лерцолитового парагенезисов, что подтверждается данными определения их состава (табл. I, ан. 3—6). Действительно, гранаты-включения в оливине являются пиропами с повышенными содержаниями хрома, что обуславливает появление в этих гранатах заметного количества кноррингитового компонента (до 13 мол. %).

Особую группу ультрабазитов образуют *гранатовые пироксениты*, представленные ассоциациями гранат + диопсид + энстатит (вебстериты), гранат + диопсид + энстатит + флогопит (слюдяные вебстериты), гранат + диопсид + энстатит 1—2% (диопсидиты, приближающиеся по ми-

Таблица 1

Химический и компонентный состав гранатов из некоторых типов ксенолитов и кимберлитов грубки «Удачная»

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	203/279	221/196	Л-6-д	Л-6/1	ОУ-8/1	ОУ-76/1	221/437	217/167	203/293	ТУВ-91	388	952	217/71	217/106	221/337	203/176	203/831
SiO <sub>2</sub>	43,46	42,97	42,0	41,3	42,1	42,1	40,10	43,92	39,0	40,82	33,80	41,84	44,10	40,64	40,22	43,24	43,19
TiO <sub>2</sub>	0,47	0,25	0,04	0,03	0,00	0,08	0,09	0,31	0,26	0,28	0,80	0,51	0,54	0,17	0,22	1,03	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,32	22,43	17,9	17,4	17,3	17,0	22,00	23,10	21,7	21,03	22,60	21,10	20,77	20,63	20,15	19,22	19,88
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75	1,08	6,74	6,89	8,51	8,72	0,52	0,21	0,02	0,05	0,01	0,01	0,08	0,02	сл.	2,29	1,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,93	Не обн.	7,98*	7,94*	7,23*	7,27*	21,50*	0,90	19,4*	2,50	1,87	2,75	0,82	3,35	4,14	2,36	2,25
FeO	8,08	8,03	—	—	—	—	—	8,27	15,83	10,73	10,95	10,12	20,84	22,96	6,63	6,78	6,78
MnO	0,10	0,32	0,45	0,45	0,43	0,35	0,42	0,30	0,33	0,43	0,20	0,28	сл.	0,52	0,75	0,31	0,27
MgO	19,97	20,51	19,6	19,2	19,8	19,9	12,00	19,23	7,15	9,03	11,95	14,02	3,12	7,76	5,03	19,53	13,75
CaO	4,09	3,72	5,82	6,35	5,18	5,50	5,22	3,81	11,6	8,97	12,25	8,67	14,34	5,73	6,12	4,44	4,26
Na <sub>2</sub> O	0,17	0,14	—	—	—	—	—	—	—	0,27	—	—	0,26	0,14	0,17	0,13	0,20
K <sub>2</sub> O	0,12	0,13	—	—	—	—	—	—	—	0,23	—	—	0,32	0,34	0,35	0,33	0,33
Сумма	99,51	99,63	100,53	99,56	100,55	100,92	101,85	100,05	99,52	99,69	100,21	100,13	91,47	100,17	100,14	93,53	93,54
+SiO <sub>2</sub>	0,030	0,025	0,011	0,005	0,003	0,009	—	0,212	—	0,020	—	0,020	0,032	0,015	0,018	0,029	0,029
Si	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,974	3,000	2,990	3,000	2,928	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Ti	0,026	0,013	0,002	0,002	0,000	0,004	0,004	0,021	0,018	0,019	0,044	0,026	0,033	0,006	0,010	0,056	0,047
Al	1,853	1,903	1,530	1,503	1,467	1,444	1,928	1,938	1,963	1,926	1,963	1,845	1,947	1,902	1,838	1,641	1,678
Cr	0,044	0,061	0,335	0,397	0,518	0,495	—	0,012	—	—	—	—	—	—	—	0,129	0,036
Fe <sup>3+</sup>	0,076	—	0,083	0,098	0,015	0,057	0,063	0,054	0,019	0,055	0,055	0,129	0,010	0,034	0,033	0,129	0,121
Fe <sup>2+</sup>	0,478	0,483	0,399	0,390	0,419	0,381	1,266	0,515	1,225	1,122	0,710	0,713	0,701	1,479	1,708	0,337	0,404
Mn	0,004	0,017	0,027	0,028	0,026	0,022	0,027	0,017	0,028	0,033	0,013	0,018	—	0,037	0,051	0,019	0,017
Mg	2,134	2,196	2,112	2,093	2,118	2,136	1,330	2,035	0,815	1,052	1,303	1,547	0,962	0,905	0,606	2,087	2,108
Ca	0,324	0,286	0,452	0,497	0,339	0,424	0,415	0,301	0,954	0,745	0,963	0,636	1,237	0,486	0,526	0,336	0,327
f, %	17,9	18,6	18,6	18,2	17,0	17,0	48,8	21,1	60,0	51,6	35,2	31,5	42,2	62,0	73,9	16,0	16,1
Ca-комп.	10,8	9,5	15,1	11,7	13,3	14,1	12,6	10,2	31,1	25,5	32,9	24,0	44,3	19,8	21,3	16,6	15,6
Cr-комп.	2,2	3,0	19,2	19,9	25,9	24,8	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	6,4	4,8

Таблица 1 (окончание)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	203/279	221/196	Л-6-д	Л-6/1	ОУ-8/1	ОУ-76/1	221/437	217/167	203/293	ТУВ-91	388	952	217/71	217/106	221/337	203/176	203/831
Пироп	73,1	73,2	62,3	61,2	58,4	58,8	44,3	71,5	27,2	35,5	43,6	51,6	32,2	30,0	20,0	69,6	70,3
Альмандит	15,9	16,3	13,3	13,0	14,0	12,7	42,2	17,6	40,8	37,9	23,1	23,8	23,5	49,2	56,6	13,2	13,5
Спелсартин	0,4	0,6	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	0,7	0,9	1,1	0,4	0,6	—	1,0	1,8	0,6	0,6
Гроссуляр	4,9	5,0	—	—	—	—	9,0	7,2	29,3	23,1	30,8	16,2	42,3	15,0	17,0	4,4	2,4
Андрадит	4,8	1,3	4,2	4,9	0,8	2,8	3,4	1,5	0,9	1,5	—	6,5	0,5	4,5	4,3	3,0	6,0
Уваровит	2,2	3,0	10,8	6,7	12,5	11,1	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	6,4	4,8
Ti-андрадит	1,3	0,6	0,1	0,1	—	0,2	0,2	1,0	0,9	0,9	2,1	1,3	1,5	0,3	0,5	2,8	2,4
Кноррингит	—	—	8,4	13,2	13,4	13,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$a_0$ , Å	11,533	11,521	—	—	—	—	11,545	11,516	11,624	—	11,606	11,531	11,661	11,572	11,587	11,549	11,544
$N$	1,742	1,740	1,762	1,763	1,767	—	1,770	1,736	1,768	—	1,746	1,744	1,747	1,777	1,792	1,752	1,749

\* Все железо в форме FeO.

1, 2 — равномернозернистые перидотиты; 3—6 — включения в оливине из кимберлита; 7 — пироксенит; 8—10 — биминеральные эклогиты; 11, 12 — алмазоносные эклогиты; 13—дистоновый эклогит; 14, 15 — кристаллические породы; 16, 17 — крупные желваки оранжево-красного цвета из кимберлита.

Анализы 1 и 2 выполнены Л. И. Соловьевой (ЦАЛ ЯТГУ, Якутск); 3—7 и 9 — на рентгеновском микроанализаторе Ю. Г. Лаврентьевым (ИГиГ СО АН СССР, Новосибирск); 8 — Г. Ф. Помазовой (ЦАЛ ЯТГУ, Якутск); 10, 14—17 — Т. М. Саблиной (НИИГА, Ленинград); 11, 12 — Г. С. Гормашевой (СибГЕОХИ СО АН СССР, Иркутск); 13 — А. Н. Бондаревой (ИЗК СО АН СССР, Иркутск).

неральному составу к эклогитам), гранат+энстатит+диопсид 1—2% (энстатититы). Две первых разновидности пород обладают равномерной зернистой структурой. В диопсидитах и энстатититах гранат наблюдается либо в виде очень мелких зерен, заполняющих интерстиции между выделениями пироксенов, либо образует цепочки вокруг зерен клинопироксена, напоминающие реакционные каймы. Иногда гранат и клинопироксен находятся в тесном пойкилитовом срастании.

Своеобразную разновидность представляют гранаты гранатизированных шпинелевых пироксенитов из трубки «Обнаженная» (Милашев, 1960), аналогичные по свойствам вышеописанным гранатам перидотитовой серии.

**Гранаты из пироксенитов** трубки «Удачная» содержат незначительные количества хрома. Цвет их оранжевый, иногда с розоватым оттенком. Очень редко в них наблюдаются включения рутила. Показатели преломления гранатов из пироксенитов изменяются в пределах 1,756—1,773, в отличие от параметров элементарных ячеек, которые у этих гранатов очень близки: 11,542—11,548 Å. Это гранаты пироп-альмандинового ряда с существенной постоянной примесью гроссуляра (~15%), а не уваровита. Железистость отдельных гранатов из флогопитсодержащих вебстеритов достигает 50% (табл. 1, ан. 7). На диаграмме Винчелла гранаты из пироксенитов трубки «Удачная» образуют самостоятельное поле в виде узкой полосы на треугольнике PY—AL—GR (пироп-альмандин-гроссуляр), несколько отклоняющейся влево и вверх от области гранатов из перидотитов (рис. 1). Пироп и альмандин в этих гранатах содержатся примерно в равных количествах (40—50%), изменение их соотношений резко влияет на величину *N*.

Пироксениты трубки «Мир» более многочисленны и содержат, как правило, фиолетовый и малиновый гранат, что свидетельствует о значительной роли хрома в их составе. Оранжевые разновидности очень редки. *N* и *a<sub>0</sub>* гранатов варьируют в следующих пределах: 1,733—1,768 и 11,508—11,577 Å соответственно. На диаграмме их поле практически совпадает с полем равномернозернистых гранатовых ультрабазитов (рис. 3).

Компонентный состав гранатов из пироксенитов определяется по физическим константам недостаточно точно, так как обычно они содержат примерно одинаковые количества гроссуляра и уваровита (Соболев, 1964а), представляя собой четырехкомпонентные смеси; ввиду этого недостаточно надежно определяется и пироповый компонент. Ошибки для гранатов этого типа могут достигать 7—8% содержания одной из составляющих.

**Ксенолиты эклогитов** в целом распространены в кимберлитовых трубках несравненно реже, чем гранатовые ультрабазиты. По минеральному и химическому составу эклогиты подразделяются на несколько типов, важнейшими из которых являются магнезиально-железистые (гранат+клинопироксен), алмазоносные (гранат+клинопироксен+алмаз), корундовые (гранат+клинопироксен+корунд), дистеновые (гранат+клинопироксен+дистен) эклогиты (Соболев, 1964а, б, 1968). К последней группе нами отнесены также гроспидиты, вследствие сходного химизма (Лазько и др., 1973). Во всех ассоциациях могут присутствовать рутил и графит. Гранат и клинопироксен являются главными породообразующими минералами. Количественные соотношения их сильно варьируют: от 20—30% (объемных) до 80% граната. Структура эклогитов аллотриоморфнозернистая, часто пойкилитовая; отмечаются полосчатые текстуры.

**Гранаты из всех групп эклогитов** представлены зернами округлой или неправильной формы размером 1—6 мм. Обычно они разбиты сетью трещин, выполненных кальцитом, хлоритом, флогопитом. Нередки включения в гранате моноклинного пироксена, рутила, рудного игольчатого минерала, а в дистеновых эклогитах — дистена (Sobolev a. oth., 1968).

Цвет гранатов преимущественно оранжево-желтый, иногда с розовым оттенком. Показатели преломления в гранатах эклогитов являются, как известно, функцией железистости, а параметры элементарных ячеек — функцией кальциевости. Измеренные физические свойства наших образцов варьируют очень широко, что говорит о значительных колебаниях как железистости, так и кальциевости.

По химизму гранаты эклогитов первого типа являются пироп — альмандин — гроссуляровыми, с переменным содержанием железистой и кальциевой составляющих: от 9 до 34 и от 17 до 55% соответственно.

Разновидностью глубинных эклогитов магнезиального характера (табл. 1, ан. 8) являются эклогиты с гранатом резко повышенной железистости (табл. 1, ан. 9—10), возможно, имеющие коровое происхождение. Эти эклогиты образуют постепенные (по составу) переходы к эклогитоподобным породам.

Характерной особенностью гранатов алмазоносных эклогитов является высокая железистость (33—57%), что сближает их с гранатами эклогитов, ассоциирующихся с основными породами (Coleman a. oth., 1965), однако переменные высокие содержания Са-компонента (10—35%) делают их уникальными по составу. В то же время отличия алмазоносных эклогитов от магнезиально-железистых в целом не настолько велики, чтобы не допускать возможности кристаллизации алмазов в обоих типах пород в зависимости от концентрации углерода, при наличии достаточных давлений и температур.

Химические анализы гранатов из алмазоносных эклогитов, впервые обнаруженных в трубке «Удачная» (Пономаренко и др., 1973), показывают их принадлежность к пироп-альмандин-гроссулярам (табл. 1, ан. 11—12), причем низкая железистость отличает эти гранаты от большинства изученных гранатов алмазоносных эклогитов из других районов.

Корундовые эклогиты относятся к наиболее экзотическим образованиям в кимберлитах. Состав граната одного из подобных ксенолитов весьма своеобразен: магнезиальный гранат ( $f=24\%$ ) содержит 42% гроссулярового компонента (Соболев, 1964б).

Гранаты дистеновых эклогитов характеризуются сходной железистостью: 30—55%, что хорошо видно по значениям показателей преломления (Sobolev a. oth., 1968). Элементарные ячейки этих гранатов, образующих непрерывный ряд пироп — гроссуляр, — самые крупные ( $a_0$  достигает 11,850 Å), что свидетельствует о чрезвычайно высокой кальциевости: до 94% Са-компонента. Наблюдающиеся в дистеновых эклогитах зеленые обогащенные хромом гранаты с вростками дистена являются особенно редкими (Соболев и др., 1966).

Впервые описанный в трубке Удачная ксенолит дистенового эклогита (Лазко и др., 1973) содержал гранат стандартного для таких пород состава (табл. 1, ан. 13), характеризующийся ординарной для них железистостью и кальциевостью.

К отдельному типу, резко отличающемуся от всех остальных, относятся **гранаты из кристаллических и эклогитоподобных пород**, представленных ассоциациями граната с моноклинным пироксеном, плагиоклазом, амфиболом, гиперстеном, биотитом, скаполитом. Размеры зерен гранатов в этих породах обычно не превышают 2—3 мм, содержание минерала варьирует в широких пределах. Форма зерен преимущественно округлая, но нередко встречаются мелкие идиоморфные кристаллы. В эклогитоподобных породах отмечается реакционный гранат вокруг зерен ортопироксена, особенно, если последний контактирует с плагиоклазом.

Породы этого типа пользуются широким распространением в трубке «Удачная» и почти не встречаются в трубке «Мир». Гранаты окрашены в оранжево-красный цвет. При средних значениях  $a_0$  (11,550—11,590 Å) они характеризуются повышенными показателями преломления (до

1,790 и выше), что свидетельствует о высокой железистости образцов (табл. 1, ан. 14—15). Содержание альмандина в большинстве случаев равно 53—65% (Лазыко, 1971). Лишь в некоторых эклогитоподобных породах показатель преломления граната опускается до значений 1,750—1,755, соответствующих уже существенно магнезиальному гранату. На треугольнике пироп—альмандин—гроссуляр большинство этих гранатов образует компактное поле вблизи Al-вершины диаграммы, четко отделяющееся от полей гранатов из других типов пород (рис. 1).

По своим свойствам и составу гранаты кристаллических и эклогитоподобных пород параллелизуются с гранатами докембрийских метаморфических серий Алданского и Анабарского щитов (Лутц, 1964; Макарушев, 1965).

Недавно была выделена еще одна группа гранатосодержащих глубинных пород: *ильменитовые гипербазиты* (Пономаренко и др., 1971). Находки последних пока немногочисленны и сделаны главным образом в трубке «Мир». Гранаты из ильменитовых гипербазитов характеризуются оранжево-красным цветом и физическими свойствами, близкими к свойствам желваков граната так называемой «второй генерации» из основной массы кимберлита (Бобриевич и др., 1964).

Гранаты из основной мелкозернистой серпентин-кальцитовый массы кимберлитов обладают рядом специфических черт, делающих дискуссионным происхождение этого минерала в кимберлитовых породах. В предыдущей работе одного из авторов (Лазыко, 1971) обсуждались современные гипотезы, касающиеся генезиса гранатов в кимберлитах. Новые данные заставляют нас вернуться к освещению этой проблемы и позволяют несколько иначе трактовать некоторые ее аспекты.

Как известно, в основной массе кимберлита по морфологии, размерам, окраске и химическому составу зерен целесообразно выделение двух обширных групп граната («генераций»), резко различающихся между собой (Бобриевич и др., 1964). К первой относятся небольшие зерна преимущественно угловатой формы, окрашенные в фиолетовый и малиновый цвет с различными оттенками. По химизму эти гранаты идентичны гранатам ультраосновных оливинсодержащих ксенолитов и содержат значительные количества хромового компонента.

Вторая группа характеризуется оранжево-красным цветом и большими, по сравнению с первой, размерами зерен. Отличительной особенностью этих гранатов является повышенное содержание титана (табл. 1, ан. 16—17). Оранжево-красный гранат установлен в сростках с ильменитом, чего не наблюдается для гранатов первой группы.

Для гранатов обеих групп характерны большие колебания значений  $N$  и  $a_0$ . Последние были нанесены на ту же диаграмму Винчелла (рис. 1—4). Расположение точек в основном повторяет картину распределения гранатов из различных типов ксенолитов. Фиолетовые, малиновые и вишневые зерна граната первой группы с большой точностью соответствуют по свойствам гранатам из ксенолитов оливинсодержащих ультрабазитов лердолитовой ассоциации. Это дает основание для вывода о том, что первые, по всей вероятности, попадают в кимберлит за счет дробления ксенолитов. Несколько отдельных зерен граната из кимберлита обеих трубок с характерным малиновым цветом попали в область высокохромистых малокальциевых гранатов дунит-гарцбургитового парагенезиса. Небольшие зерна оранжевого граната с низкими значениями  $N$  (до 1,745), вероятно, происходят за счет дробления порфириновых перидотитов (трубка «Удачная») или эклогитов и, возможно, пироксенитов (трубка «Мир»).

Среди гранатов ксенолитов не обнаружено аналогов для образца из трубки «Удачная», который характеризуется чрезвычайно низкими значениями  $a_0$  и  $N$ , вследствие необычно высокого содержания пиропового компонента ( $\sim 85\%$ ). Вероятно, этот бледно-розовый гранат с по-

Таблица 2

Средние значения  $\bar{x}$  и дисперсии  $S$  показателей преломления и параметров элементарных ячеек  $a_0$  гранатов из основной массы кимберлита

Цвет граната	Фиолетовые гранаты		Оранжевые гранаты		Крупные оранжево-красные желваки		
	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	
1	2	3	4	5	6	7	
Тр. «Удачная»	К-во	n = 34		n = 28		n = 28	
	$N$	1,759	0,009	1,748	0,010	1,751	0,003
	$a_0, \text{Å}$	11,550	0,016	11,541	0,018	11,544	0,007
Тр. «Мир»	К-во	n = 38		n = 20		n = 18	
	$N$	1,748	0,009	1,748	0,009	1,748	0,002
	$a_0, \text{Å}$	11,543	0,019	11,533	0,019	11,541	0,003

казателем преломления 1,722, что является самой низкой величиной, известной для гранатов сибирских кимберлитов, происходит из ксенолита какой-то редкой экзотической породы. Не обнаружено нами также ксенолитов с гранатом зеленого цвета (Харьков, 1970), характеризующимся высокими значениями  $N$  и  $a_0$ . Однако гранат с подобными свойствами найден Н. П. Похиленко в ксенолитах (Соболев и др., 1973) в редком верлитовом парагенезисе, из которого, по-видимому, происходят и наши образцы.

Наиболее спорным представляется происхождение крупных ( $>10$  мм) желваков граната оранжево-красного цвета, нанесенных на диаграммы отдельным значком (так называемые гранаты второй генерации). Они характеризуются очень близкими свойствами. К этой же группе относится значительное число мелких ( $<10$  мм) зерен граната, образовавшихся за счет дробления более крупных выделений.  $N$  и  $a_0$  большинства желваков изменяются незначительно: 1,746—1,753 и 11,540—11,550 Å для трубки «Удачная»; 1,745—1,751 и 11,536—11,544 Å для трубки «Мир». Точки их составов группируются в тесное поле в пределах полосы гранатов из ультрабазитов, однако в отличие от последних описываемые гранаты являются пироп-альмандин-гроссуляровыми (рис. 1—4), с примесью уваровита (табл. 1, ан. 16—17). По расположению на диаграмме эта группа гранатов не имеет себе аналогов, за исключением редких гранатов ильменитовых гипербазитов и некоторых эклогитов.

Для более достоверного суждения о генезисе гранатов в кимберлите проведено сравнение констант выделенных разновидностей кимберлитовых гранатов (табл. 2) с константами гранатов различных типов ксенолитов (табл. 3) с помощью методов математической статистики. Величиной, показывающей наличие или отсутствие различий между сравниваемыми физическими характеристиками гранатов, служил  $t$ -критерий согласия Стьюдента (различия средних  $\bar{x}$  и их дисперсии  $S$  по выделенным группам). Результаты сравнений приведены в табл. 4. Из нее следует, что между фиолетовыми гранатами из основной массы кимберлита и гранатами той же окраски из равномернозернистых и порфировых оливинсодержащих ультрабазитов не устанавливается значимых различий с вероятностью 99—99,9% как по параметрам элементарных ячеек, так и по показателям преломления для обеих трубок. Кроме того, не устанавливается также различий между фиолетовыми гранатами кимберлитов и гранатами ксенолитов пироксенитов трубки «Мир».

Таблица 3  
Средние значения ( $\bar{x}$ ) и дисперсии ( $S$ ) показателей преломления  $N$  и параметров элементарных ячеек  $a_0$  гранатов из некоторых типов ксенолитов

Тип породы, цвет граната	Равномернозернистые ультрабазиты		Порфиновые перидотиты, оранжевые		Порфиновые перидотиты, фиолетовые		Пироксениты		Эклогиты		Алмазоносные эклогиты		Эклогитоподобные и кристаллические породы		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	$\bar{x}$	$S$	
Тр. «Удачная»	К-во	n = 31		n = 20		n = 42		n = 7		n = 5		n = 2		n = 67	
	$N$	1,755	0,009	1,743	0,002	1,755	0,008	1,765	0,007	1,754	—	1,745	—	1,780	0,008
	$a_0, \text{Å}$	11,558	0,016	11,531	0,005	11,556	0,016	11,545	0,002	11,560	—	11,594	—	11,570	0,011
Тр. «Мир»	К-во	n = 60		—		n = 14		n = 19		n = 17		n = 7		—	
	$N$	1,745	0,005	—	—	1,752	0,010	1,745	0,010	1,744	0,011	1,763	0,009	—	—
	$a_0, \text{Å}$	11,533	0,012	—	—	11,545	0,018	11,532	0,019	11,526	0,020	11,588	0,027	—	—

Таблица 4

Рассчитанные значения  $t$ -статистики Стьюдента для параметров элементарных ячеек  $a_0$  и показателей преломления  $N$  различных групп гранатов

Пары разновидностей	Трубка «Удачная»		Трубка «Мир»	
	$a_0$	$N$	$a_0$	$N$
$t_{1,4}$	2,02 (—)	1,79 (—)	2,01 (—)	1,88 (—)
$t_{2,6}$	2,89 (+)	2,50 (+)	—	—
$t_{3,6}$	7,51 (+)	10,69 (+)	—	—
$t_{1,5}$	0,32 (—)	1,33 (—)	0,34 (—)	1,35 (—)
$t_{1,7}$	—	—	2,06 (+)	1,10 (—)
$t_{2,8}$	—	—	1,06 (—)	1,21 (—)
$t_{3,8}$	—	—	2,97 (+)	4,46 (+)

1 — фиолетовые гранаты из основной массы кимберлита; 2 — оранжевые гранаты из основной массы кимберлита; 3 — крупные желваки оранжево-красного цвета; 4 — гранаты из равномернозернистых оливин-содержащих ультрабазитов; 5 — фиолетовые гранаты из перидотитов порфиривого облика трубки «Мир» и порфириковых перидотитов трубки «Удачная»; 6 — оранжевые гранаты из порфириковых гранатовых перидотитов трубки «Удачная»; 7 — гранаты из пироксенитов; 8 — гранаты из эклогитов.

(+) — различия значимые

(—) — различия незначимые

На рис. 5 и 6 видно, что во всех случаях ( $a$ ,  $b$ ) распределения величин  $a_0$  и  $N$  не носят нормального характера, а состоят из нескольких сближенных максимумов, частично накладывающихся друг на друга. Это говорит о том, что существует по крайней мере несколько генетических групп ультрабазитов, различающихся между собой по условиям образования.

Статистические выводы о генезисе оранжевых гранатов в кимберлите следует считать предварительными. Картина распределения констант для этих гранатов является еще более сложной (рис. 5—6,  $b$ ). Лишь для крупных желваков гранатов оранжево-красного цвета распределение приближается к нормальному (рис. 5—6,  $d$ ). Из табл. 4 видно, что для большинства пар выделенных групп оранжевых гранатов из кимберлитов и ксенолитов по  $t$ -критерию устанавливаются значимые различия средних величин физических констант с вероятностью 99—99,9% для обоих кимберлитовых тел (не устанавливается таких различий только для пары кимберлит — эклогит из трубки «Мир»). Это, по нашему мнению, объясняется большим количеством разных групп ксенолитов с оранжевым гранатом, ни одна из которых не играет ведущей роли в «засорении» кимберлита. В целом же можно считать, что распределение оранжевых гранатов из кимберлитов соответствует распределению гранатов ксенолитов, содержащих такие гранаты — эклогитов, пироксенитов и порфириковых перидотитов трубки «Удачная» (рис. 5,  $z$ ) и эклогитов из трубки «Мир» (рис. 6,  $z$ ), с учетом влияния на форму распределения раздробленных остатков (<10 мм) гранатов «второй генерации».

Таким образом, статистическая обработка результатов измерения физических констант подтверждает выводы настоящего исследования о ксеногенном характере большинства гранатов в кимберлите. Неясным остается только генезис крупных оранжево-красных гранатов. В табл. 5 приведен их средний состав по данным опубликованных химических анализов из трубок Мало-Ботуобинского и Далдыно-Алаkitского районов. Из табл. 5 видно, что колебания составов таких гранатов даже из удаленных друг от друга алмазонасных районов крайне незначительны, что подтверждается их физическими свойствами. Необходимо отметить, что близость составов и свойств свидетельствует о сходных условиях кристаллизации желваков.

литов. Это заключение не касается только крупных желваков граната оранжево-красного цвета, а также их осколков. Последние, вероятно, происходят из другого источника, причем некоторые их особенности позволяют предположить генетическую связь желваков с ильменитовыми гипербазитами.

Авторы считают своим долгом выразить признательность А. А. Бровкину, Н. Б. Голевой и Ю. А. Кудриной-Абагинской за содействие при проведении экспериментальной части работы, а также Н. П. Похиленко за участие в обсуждении результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бобревич А. П., Илупин И. П., Козлов И. Т., Лебедева Л. И., Панкратов А. А., Смирнов Г. И., Харьков А. Д.* Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. Изд-во «Недра», 1964.
- Лазько Е. Е.* К вопросу о происхождении граната в кимберлитах трубки Удачная.— Зап. Всес. минер. об-ва, ч. 100, вып. 6, 1971.
- Лазько Е. Е.* Особенности структуры некоторых минералов кимберлитов как индикатор процессов глубинной эволюции ультрабазитового расплава.— Изв. АН СССР, серия геол., 1974, № 3.
- Лазько Е. Е., Афанасьев В. П.* Минералы-включения в оливинах из кимберлитов трубки Удачная (Якутия).— Зап. Всес. минер. об-ва, ч. 103, вып. 1, 1974.
- Лазько Е. Е., Серенко В. П., Пономаренко А. И.* Дистеновый эклогит из кимберлитов трубки Удачной (Якутия).— Сов. геология, 1973, № 12.
- Лутц Б. Г.* Петрология гранулитовой фации Анабарского массива. Изд-во «Наука», 1964.
- Мак-Грегор И. Д.* Реакция  $4\text{энстатит} + \text{шпинель} \rightleftharpoons \text{форстерит} + \text{пироп}$ .— Сб. «Петрология верхней мантии». Изд-во «Мир», 1968.
- Маракушев А. А.* Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. Изд-во «Наука», 1965.
- Милашев В. А.* Родственные включения в кимберлитовой трубке Обнаженная.— Зап. Всес. минер. об-ва, ч. 89, вып. 3, 1960.
- Милашев В. А.* Физико-химические условия образования кимберлитов. Л., Изд-во «Недра», 1972.
- Пономаренко А. И., Пономаренко Г. А., Харьков А. Д., Илупин И. П.* Включения ильменитовых гипербазитов в кимберлитах Якутии.— Сов. геология, 1971, № 10.
- Пономаренко А. И., Пономаренко Г. А., Харьков А. Д., Соболев Н. В.* Новые данные по минералогии включений ильменитовых гипербазитов из кимберлитовых трубок. Зап. Якутии.— ДАН СССР, 1972, 207, № 4.
- Пономаренко А. И., Серенко В. П., Лазько Е. Е.* Первые находки алмазоносных эклогитов в кимберлитовой трубке Удачная.— ДАН СССР, 1973, 209, № 1.
- Смирнов Г. И.* Протомагматическая стадия минералообразования в кимберлитах.— Геология и геофизика, 1970, № 12.
- Соболев Н. В., Най Б. С., Соболев Н. В., Лаврентьев Ю. Г., Поспелова Л. И.* Ксенолиты алмазоносных пироповых серпентинитов из трубки Айхал, Якутия.— ДАН СССР, 1969, 188, № 5.
- Соболев Н. В.* Парагенетические типы гранатов. Изд-во «Наука», 1964а.
- Соболев Н. В.* Ксенолит эклогита с рубином.— ДАН СССР, 1964б, 157, № 6.
- Соболев Н. В.* Ксенолиты эклогитов из кимберлитовых трубок как обломки вещества верхней мантии.— В сб. «Кора и верх. мантия», «Наука», 1968.
- Соболев Н. В., Кузнецова И. К.* Хромовые пиропы из перидотитовых ксенолитов кимберлитовой трубки Удачная (Якутия).— В сб. «Пробл. петрологии ультраосн. и осн. пород», «Наука», 1972.
- Соболев Н. В., Кузнецова И. К., Зюзин Н. И.* Хромсодержащие минералы из гроспидитов и новые данные о хромдистене.— Геология и геофизика, 1966, № 10.
- Соболев Н. В., Лаврентьев Ю. Г., Поспелова Л. Н., Соболев Е. В.* Хромовые пиропы из алмазов Якутии.— ДАН СССР, 1969, 189, № 1.
- Соболев Н. В., Бартошинский З. В., Ефимова Э. С., Лаврентьев Ю. Г., Поспелова Л. Н.* Ассоциация оливин — гранат — хромдиопсид из якутского алмаза.— Докл. АН СССР, 1970, 192, № 6.
- Соболев Н. В., Гневушев М. А., Михайловская Л. Н., Футергендлер С. И., Шеминина Е. И., Лаврентьев Ю. Г., Поспелова Л. Н.* Состав включений гранатов и пироксенов в уральских алмазах.— Докл. АН СССР, 1971, 198, № 1.
- Соболев Н. В., Похиленко Н. П., Зюзин Н. И.* Хромсодержащие гранаты из ксенолитов ультраосновных пород в кимберлитах Якутии.— Геология и геофизика, 1973, № 7.
- Францессон Е. В.* Петрология кимберлитов. Изд-во «Недра», 1968.
- Харьков А. Д.* Гранат уваровит-пиропового состава из кимберлитов Якутии.— Минер. сб. Львовск. ун-та, вып. 4. 1970.
- Coleman R. D., Lee D. E., Beatty L. B., Brannock W. W.* Eclogites and eclogites: Their differences and similarities.— Geol. Soc. Amer. Bull., 76, 1965.
- Frick C.* The garnets in kimberlite and in

- the associated griquaitite and ultramafic nodules. *Contribs Mineral. and Petrol.*, **35**, N 1, 1972.
- Gurney J. J., Switzer G. S.* The discovery of garnets closely related to diamonds in the Finch pipe, South Africa. *Contribs Mineral. and Petrol.*, **39**, N 2, 1973.
- Meyer H. O. A.* Chrome pyrope: an inclusion in natural diamond. *Science*, **160**, N 3835, 1968.
- Meyer H. O. A., Boyd F. R.* Composition and origin of crystalline inclusion in natural diamonds.—*Geochym. et cosmochym. acta*, **36**, N 11, 1972.
- Nixon P. H., Hornung G.* A new chromium garnet end member, knorringite.—*Amer. Miner.*, **53**, N 11—12, 1968.
- Rickwood P. C., Mathias M., Siebert J. C.* A study of garnets from eclogite and peridotite xenoliths found in kimberlites.—*Contribs Mineral. and Petrol.*, **19**, N 4, 1968.
- Sobolev N. V., Kuznetsova I. K., Zyuzin N. I.* The petrology of grosspyrite xenoliths from the Zagadochnaya kimberlite pipe in Yakutia.—*J. Petrol.*, **9**, N 2, 1968.
- Sobolev N. V., Lavrent'ev J. G., Pokhilenko N. P., Usova L. V.* Chrome-rich garnets from kimberlites of Yakutia and their paragenesis.—*Contribs Mineral. and Petrol.*, **40**, N 1, 1973.
- Winchell H.* The composition and physical properties of garnet.—*Amer. miner.*, **43**, N 7—8, 1958.