

*ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ*

**ГРАНАТЫ КОРОВЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ  
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ И  
ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ**

**Е.И. Николенко, В.П. Афанасьев, Н.П. Похиленко**

*Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Приведены результаты изучения особенностей состава и вероятных парагенезисов пироп-альмандиновых гранатов из аллювиальных отложений речной сети Муно-Мархинского междуречья Якутской алмазоносной провинции. Полученные данные сопоставлены с особенностями гранатов предположительно корового происхождения из концентратов кимберлитов Якутии и Гвинеи, из коровых ксенолитов в кимберлитах и метаморфических пород Анабарского кристаллического щита. В результате сделан вывод, что источниками большей части оранжевых пироп-альмандиновых гранатов в ореолах Муно-Мархинского междуречья являются кимберлитовые тела, содержащие переменное количество дезинтегрированного корового материала, что является основанием для включения данных гранатов в комплекс индикаторных минералов кимберлитов и использования при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы на территории Якутской алмазоносной провинции.

*Пироп-альмандиновые гранаты, нижняя кора, кимберлит, щит, Сибирская платформа.*

**GARNETS OF CRUSTAL PARAGENESES IN ALLUVIAL DEPOSITS  
OF THE EASTERN SIBERIAN PLATFORM: GENESIS AND SEARCH SIGNIFICANCE**

**E.I. Nikolenko, V.P. Afanas'ev, and N.P. Pokhilenko**

We present results of study of the specific composition and parageneses of pyrope-almandine garnets from alluvial sediments of the Muna-Markha interfluvial drainage in the Yakutian diamondiferous province. The data are correlated with the specific features of garnets (tentatively crustal) from Yakutian and Guinean kimberlites and their crustal xenoliths and from metamorphic rocks of the Anabar Shield. The conclusion is drawn that most of orange pyrope-almandine garnets from the alluvial deposits were generated from kimberlites with varying contents of disintegrated crustal material. This gives grounds to include the studied garnets into a complex of indicator minerals of kimberlites and use them in search for diamonds in the Yakutian diamondiferous province.

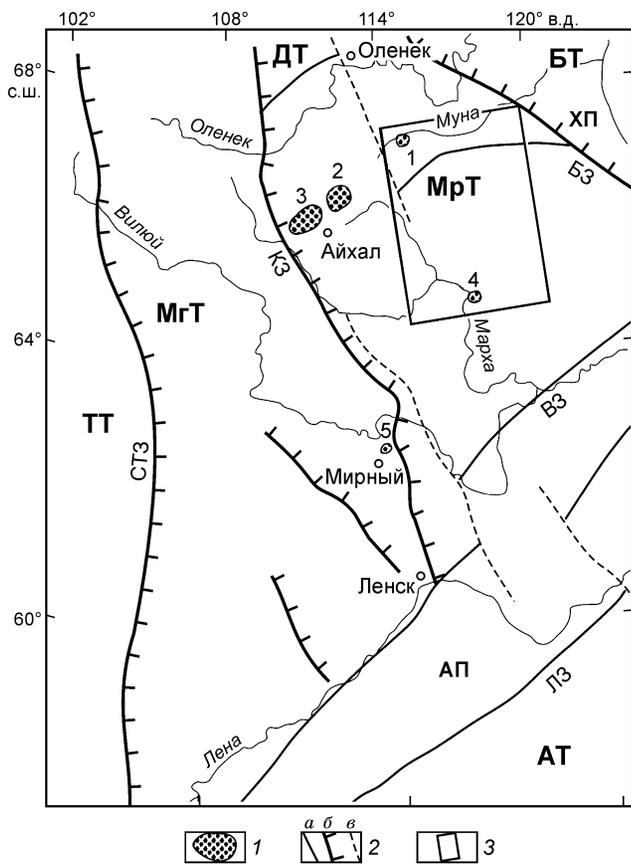
*Pyrope-almandine garnets, lower crust, kimberlite, shield, Siberian Platform*

**ВВЕДЕНИЕ**

Исследуемая площадь расположена в восточной части Сибирской платформы, на северо-западной окраине Вилюйской синеклизы и ограничена двумя реками Муна и Марха (рис. 1). В географическом плане это восточная окраина Среднесибирского плоскогорья.

На дневной поверхности здесь обнажены терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя (кембрий), являющиеся кимберлитомещающими. На них фрагментарно сохранились терригенные отложения юры, которые ранее были распространены значительно шире, но к настоящему времени практически смыты. Юрские отложения содержат комплекс индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) (пиропы, пикроильмениты, хромиты, редко оливины и хромдиопсиды, а также алмазы), основная масса которых имеет «признаки древности» (гипергенная коррозия, связанная со среднепалеозойской корой выветривания, докоровый и послекоровый механический износ) и переотложена из более древних отложений (верхне- и среднепалеозойских), развитых на данной территории [Афанасьев и др., 2001б].

Платформенный фундамент района относится к Мархинскому гранит-зеленокаменному террейну Анабарской тектонической провинции [Розен и др., 2002], возраст формирования субстрата которого оценивается в 2.5 млрд лет [Розен и др., 2000]. В пределах террейна, по геофизическим данным и данным бурения, выделяются крупные плутоны гранитоидов, а также зеленокаменные пояса и мафические интрузии [Розен и др., 2002]. Кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста известны к юго-востоку от данной территории (Накынское кимберлитовое поле, 364 млн лет для трубок Нюрбинская и Ботуобинская [Агашев и др., 2004]), на западе (Алакит-Мархинское и Далдынское кимберлитовые поля, 358 млн лет для



**Рис. 1.** Схема геологического строения кристаллического фундамента центральной части Якутской алмазоносной провинции (северо-восток Сибирской платформы) [Розен и др., 2002].

1 — кимберлитовые поля: 1 — Верхнемунское, 2 — Далдынское, 3 — Алакит-Мархинское, 4 — Накынское, 5 — Мирнинское; 2 — разрывные нарушения: а — крупные раннепротерозойские разломы, б — предположительно крутые ЮВ надвиги, в — фанерозойские разломы, преимущественно левосдвигового типа; 3 — территория Муно-Мархинского междуречья. Буквами обозначены: ТТ, МгТ, ДТ, БТ, МрТ, АТ — Тунгусский, Маганский, Далдынский, Биректинский, Мархинский террейны и Алданский супертеррейны; ХП, АП — Хапчанский и Ачитканский складчатые пояса; СТЗ, КЗ, БЗ, ВЗ, ЛЗ — Саяно-Таймырская, Котуйканская и Билляхская коллизионные зоны, Вилуйская и Ленская разломные зоны.

тр. Комсомольская [Агашев и др., 2004], в целом для района 353—367 млн лет [Кинни и др., 1997]) и северо-западе (Верхнемунское кимберлитовое поле, 355.5 млн лет для тр. им. 325 лет Якутии [Левченков и др., 2005]), к югу находится Мирнинское кимберлитовое поле, 360—449 млн лет [Дэвис и др., 1980](см. рис. 1).

Территория Муно-Мархинского междуречья является одной из наиболее перспективных на коренную алмазоносность в Якутской алмазоносной провинции. Интенсивные работы на

данной территории проводились еще в конце 50-х—начале 60-х годов прошлого столетия, когда одной из партий, базировавшейся на реке Улах-Муна, было открыто Верхнемунское кимберлитовое поле. На сегодняшний день усилиями геологов Ботуобинской экспедиции АК «АЛРОСА» (г. Мирный) при участии специалистов ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) опробована огромная территория между руслами рек Муна и Марха, результаты анализов подтвердили высокие перспективы ее коренной алмазоносности.

На данной площади индикаторные минералы кимберлитов в настоящее время находятся в современном аллювии, в терригенных юрских отложениях и их локальных реликтах в форме карстовых депрессий на территории развития нижнепалеозойских отложений [Афанасьев и др., 2001б]. Все эти минералы имеют типичные формы экзогенных изменений, характерные для Якутской алмазоносной провинции и других алмазоносных регионов, что позволяет использовать накопленную информацию по морфологии и условиям морфогенеза ИМК для расшифровки их посткимберлитовой эволюции.

Особенностью изученной территории является аномально высокое количество в шлиховых пробах оранжевых пироп-альмандиновых гранатов, состав которых не характерен для гранатов мантийного происхождения в кимберлитах. Эти гранаты сопровождают индикаторные минералы кимберлитов и практически не встречаются без них. Наличие общих типоморфных особенностей с пиропами, присутствующими в тех же пробах, свидетельствует об их единой истории развития в составе осадочных коллекторов после формирования кимберлитов данной территории. К таким свойствам относятся признаки гипергенной коррозии в среднепалеозойской латеритной коре выветривания и докорового механического износа в среднепалеозойском осадочном коллекторе, который был в отношении кимберлитов первичным, т.е. связанным с начальным этапом размыва кимберлитов [Афанасьев и др., 2001а]. Общность онтогенеза показывает, что пироп-альмандиновые гранаты и пиропы совместно с другими индикаторными минералами кимберлитов появились в сфере седиментогенеза в среднем палеозое примерно в одно и то же время.

Учитывая повышенную долю пироп-альмандиновых гранатов в шлиховых пробах на данной территории, а также их общую седиментологическую историю с типичными минералами-индикаторами кимберлитов, целесообразно выяснить их природу, т.е. тип коренных источников, которые могли поставлять эти гранаты в терригенные отложения. Решение этой задачи и является основным содержанием данной работы.

Материалом для исследования послужили пироп-альмандиновые гранаты из шлиховых аллювиальных проб Муно-Мархинской площади, объекты других алмазоносных регионов Якутии и мира: ким-

берлитовые трубки Удачная, Ботуобинская, Нюрбинская, кимберлиты Гвинеи, Анабарский и Алданский щиты и др. Для сравнения использовались данные по составу гранатов из литературных источников.

### ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИРОП-АЛЬМАНДИНОВЫХ ГРАНАТОВ

Как отмечено выше, исследуемые гранаты относятся к пироп-альмандинам и по составу наиболее близки к гранатам метаморфических пород земной коры.

Можно выдвинуть три версии, объясняющие происхождение этих гранатов.

1. Пироп-альмандины могут происходить из кимберлитов, где присутствуют в виде ксеногенной примеси наряду с ксенолитами (фрагментами коровых пород), являющихся материнскими для гранатов. Такая ситуация характерна для кимберлитов Далдынского, Алакит-Мархинского к западу и Накынского полей к востоку от территории Муно-Мархинского междуречья, в которых пироп-альмандиновые гранаты составляют значительную долю в общем балансе гранатов [Специус, Серенко, 1990]. Можно предположить, что кимберлиты, прогнозируемые в данном районе, также содержат существенную примесь ксеногенных коровых гранатов. Данная версия адекватно объясняет тесную связь пироп-альмандиновых гранатов с индикаторными минералами кимберлитов и представляется наиболее убедительной.

2. Имеются сведения о присутствии коровых гранатов, наряду с незначительным количеством мантйных гранатов, в среднепалеозойских трубках взрыва, в частности, в окрестностях Мирнинского кимберлитового поля [Ротман и др., 1984]. Размер зерен гранатов составляет 0.02—0.5 мм. Более 75 % зерен соответствуют, по классификации Н.В. Соболева [1964], малокальциевым альмандинам, а окраска варьирует от бледно-розовой до густо-розовой [Ротман и др., 1984]. Высококальциевые пироп-альмандиновые гранаты оранжевой окраски встречаются в количестве единичных зерен, поэтому они практически не оказывают влияния на состав шлиховых ассоциаций индикаторных минералов и на поисковую обстановку в целом. Роль базитовых трубок взрыва в характере поисковой ситуации в Малоботуобинском районе оживленно дискутировалась в первой половине 80-х годов прошлого столетия и была определена как незначительная.

Широкий спектр гранатов обнаружен в среднепалеозойских базитах на территории Муно-Мархинского междуречья и в других районах [Округин, Махотко, 1979]. Однако доля гранатов пироп-альмандинового ряда с высоким содержанием кальция (до 18.5 % гроссулярового компонента) оценивается лишь первыми процентами от общей массы гранатового концентрата, поэтому вряд ли может существенно влиять на состав шлиховых ассоциаций гранатов.

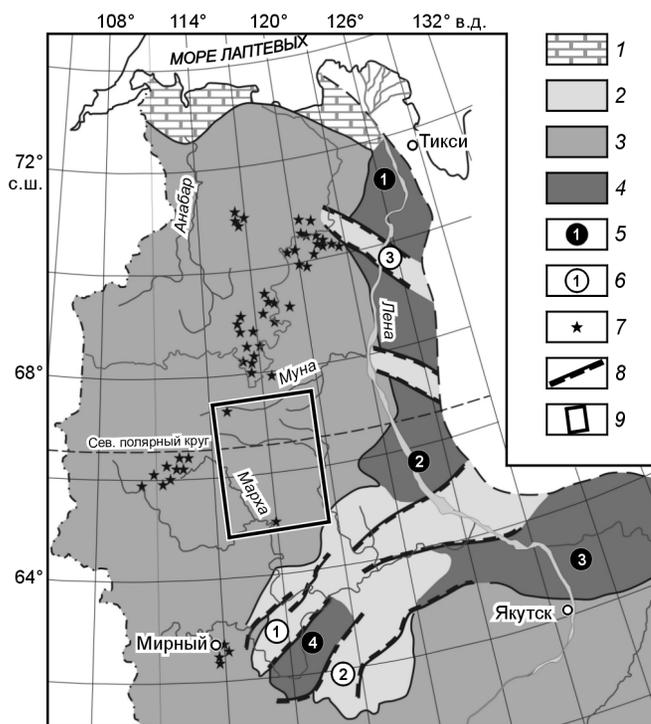
Гранаты в базитовых интрузивах и трубках взрыва исследованы давно и явно недостаточно, поэтому их повторное изучение важно как с генетических позиций, так и с точки зрения влияния на поиски кимберлитов.

3. Очевидным потенциальным источником метаморфических пироп-альмандиновых гранатов являются выступы докембрийского фундамента, экспонированные на дневной поверхности в настоящее время или погребенные в недавнем прошлом, которые в среднем палеозое служили источниками метаморфических минералов. Исходя из географического положения района исследования, можно выделить несколько таких выступов: Анабарский щит, Нижнеленский погребенный массив, Сунтарское поднятие (рис. 2).

На схеме среднепалеозойского структурного яруса Сунтарское поднятие и Нижнеленский массив (Говоровское и Джарджанское поднятия) обозначены как достоверно существовавшие на то время (см. рис. 2).

#### Рис. 2. Среднепалеозойский структурный ярус, восточная часть Сибирской платформ.

1 — осадочные бассейны с морскими отложениями мощностью до 1.5 км; 2 — рифты, выполненные красцветными терригенными эвапоритовыми отложениями мощностью до 6 км; 3 — области отсутствия среднепалеозойских отложений; 4 — участки наибольших поднятий, сопряженных с рифтами; 5 — поднятия, сопряженные с рифтами (1 — Говоровское, 2 — Джарджанское, 3 — Якутское, 4 — Сунтарское); 6 — рифты (1 — Ыгыаттинский, 2 — Кемпендйский, 3 — Кютонгдинский); 7 — кимберлиты; 8 — сбросы и сбрососдвиги; 9 — территория Муно-Мархинского междуречья [Тектоника..., 2001].



Анабарский щит в это время был перекрыт отложениями венда и палеозоя (об этом можно судить по находкам реликтов пород этого возраста в его пределах, а также в виде ксенолитов в кимберлитовых трубках [Брахфогель, Ковальский, 1970]) и был выведен на поверхность только в мезозое. Следовательно, Анабарский щит в среднем палеозое не мог служить источником оранжевых гранатов, тем более, что последние не обнаружены в пробах, взятых в непосредственной близости от щита, севернее изучаемой территории.

До начала мезозоя, в течение которого сформировался современный структурный план, граница платформы пролегла восточнее современной, а на месте Ленского отрезка Приверхоанского краевого прогиба располагался Нижнеленский массив — выступ докембрийского фундамента, длительное время служивший областью сноса терригенного материала для смежных частей платформы [Константиновский, 1979]. Его влияние на минерагению прилегающих районов Сибирской платформы очевидно, но по мере удаления на запад фон метаморфических минералов снижается, тогда как оранжевые пироп-альмандины сохраняются и в переменных количествах встречаются в шлиховых пробах вплоть до Далдыно-Алаakitского района.

Сунтарское поднятие относится к западному сегменту Виллюйской палеорифтовой системы и разделяет собой Ыгыаттинскую и Кемпендяйскую впадины (см. рис. 2). Деформированный венд—нижнепалеозойский чехол и кристаллический фундамент здесь перекрыты субгоризонтально залегающими мало-мощными юрскими отложениями [Гайдук, 1988]. Однако Сунтарское поднятие вряд ли могло оказывать влияние на состав шлиховых ассоциаций площади Муно-Мархинского междуречья, так как находится далеко на юге и в среднем палеозое было отделено от данной площади Ыгыаттинской впадиной. К тому же для ореолов индикаторных минералов кимберлитов значительно ближе расположенного Малоботуобинского района совершенно нехарактерен избыток рассматриваемых оранжевых пироп-альмандиновых гранатов, поэтому маловероятно, что Сунтарское поднятие могло служить их поставщиком.

Таким образом, из трех вариантов наиболее предпочтительным выглядит первый. Базитовые трубки взрыва, а также породы трапповой формации, являются источниками преимущественно низкокальциевых гранатов пироп-альмандинового ряда, которым присуща розовая окраска и малый размер зерен. Учитывая низкое содержание высококальциевых пироп-альмандиновых гранатов оранжевой окраски в базитах Сибирской платформы, их минералогическое влияние на состав шлиховых ассоциаций незначительно. Поэтому маловероятно, что базитовые трубки взрыва и породы трапповой формации служили источниками рассматриваемых оранжевых пироп-альмандиновых гранатов.

Вероятен снос оранжевых пироп-альмандинов с Нижнеленского выступа, наряду с другими метаморфическими минералами, главным образом дистеном и ставролитом. Однако данные гранаты показывают распределение, относительно независимое от других метаморфических минералов, что свидетельствует скорее в пользу иных источников гранатов.

Определенность в вопросе источника высококальциевых пироп-альмандинов оранжевого цвета может внести сравнительное рассмотрение составов гранатов из разных типов пород и объектов.

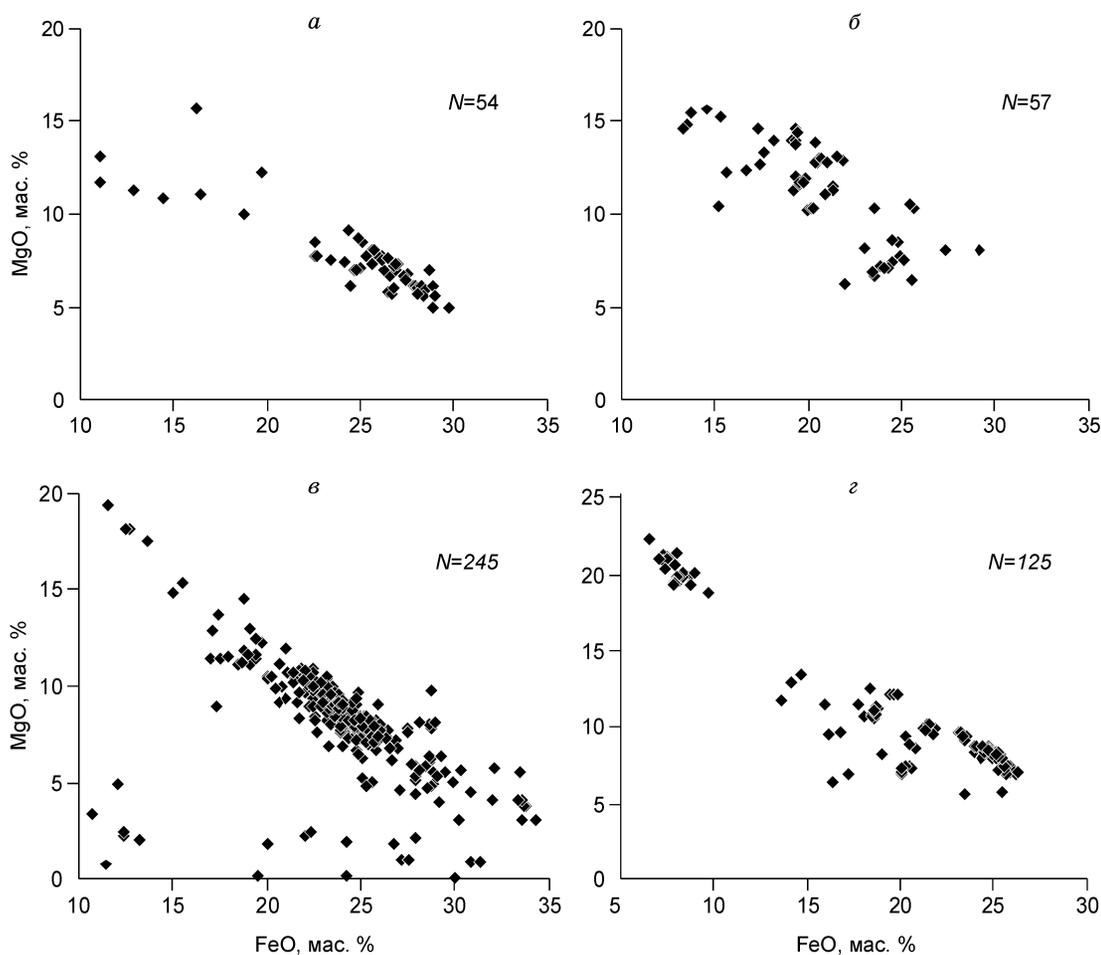
## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Химический состав минералов, выбранных из шлиховых проб, определялся с помощью рентгено-спектрального микроанализатора с электронным зондом «Самбах-Мисго» по стандартной методике в ИГМ СО РАН. Были выполнены около 1300 анализов минералов из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья, р. Большая Куонамка (Анабарский щит), кимберлитовой дайки Выход (Республика Гвинея) и ряда других объектов.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВОВ ГРАНАТОВ

Для определения типа потенциального источника описываемых гранатов привлечены данные по составу коровых гранатов из кимберлитов сопредельных полей (трубки Удачная Далдынского поля и Ботубинская, Нюрбинская Накынского поля). Кроме того, использованы наши анализы из кимберлитов удаленного региона — кимберлитовой дайки Выход нового кимберлитового поля Массаду на территории Гвинеи; эти данные привлечены для проверки общности характера разделения гранатов на коровые и мантийные парагенезисы. Используются также наши и опубликованные данные по гранатам пород, экспонированных на поверхности щитов, и литературные данные по гранатам мантийных эклогитов. Для сопоставления гранатов из разных источников использованы тройные и бинарные диаграммы (рис. 3, 4, 5).

*Трубка Удачная* (гранаты из кимберлитового концентрата). На диаграмме FeO—MgO фигуративные точки составов гранатов ложатся в две области, граница между которыми проходит на уровне примерно 10 мас.% MgO и 20—21 мас.% FeO (см. рис. 3, а). Более железистые и менее магниевые гранаты относятся к альмандиновым (коровым) разновидностям, а более магниевые к пироповым (мантийным).



**Рис. 3. Распределение составов гранатов на диаграммах FeO—MgO.**

*а* — тр. Удачная; *б* — трубки Ботубобинская, Нюрбинская; *в* — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья; *г* — дайка Выход (Гвинея). *N* — количество анализов.

*Трубки Ботубобинская и Нюрбинская* (гранаты из кимберлитового концентрата). На диаграмме гранаты распределились в две области, соответствующие коровым и мантийным парагенезисам. Граница проходит примерно на уровне 10 мас.% MgO и 20—21 мас.% FeO (см. рис. 3, б).

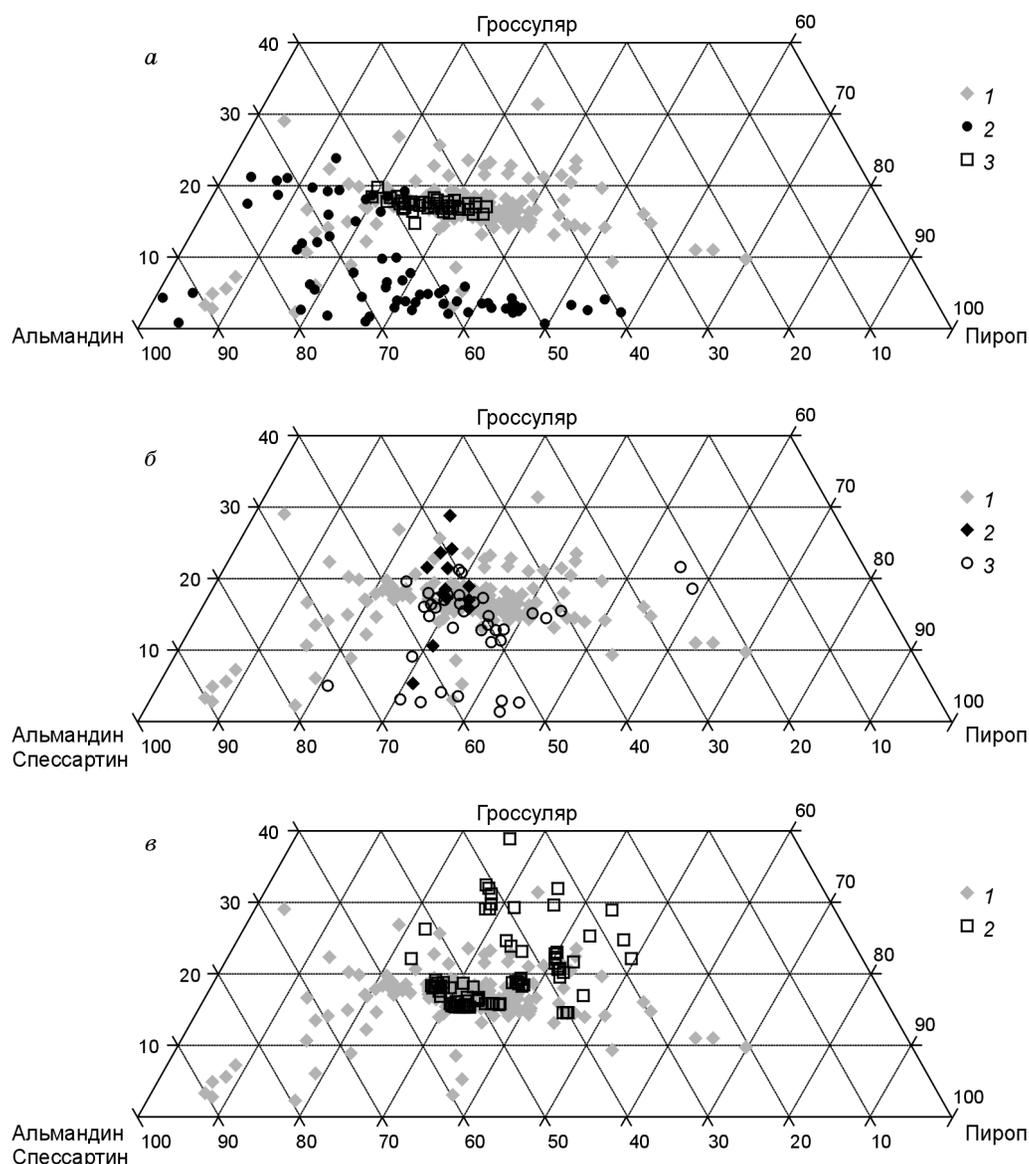
*Гранаты из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья.* Для гранатов данной территории граница также намечается на уровне 10 мас.% MgO и 20 мас.% FeO, но она выражена менее ясно по сравнению с предыдущими примерами (см. рис. 3, в). Вероятно, это связано с тем, что проба является «интегральной», т.е. представляет собой совокупность проб со всей исследуемой области. В результате оказался смешанным материал из нескольких источников, из которых он мог поступать в терригенные отложения региона.

*Кимберлитовая дайка Выход, Гвинея* (гранаты из кимберлитового концентрата). На диаграмме FeO—MgO для гранатов из дайки Выход граница между коровыми пироп-альмандинами и мантийными пиропами ясно выражена, но ее положение несколько отличается от предыдущих примеров и проходит на уровне 13—18 мас.% MgO и 10—12 мас.% FeO (см. рис. 3, г).

Сопоставление муно-мархинских гранатов с гранатами указанных объектов, а также объектов, описанных в литературе, показано на тройных диаграммах (см. рис. 4).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Минералы группы граната являются одними из наиболее характерных и генетически информативных минералов различных типов пород как метаморфических, так и магматических. Особенно широко распространены в метаморфических породах гранаты пироп-альмандинового ряда [Соболев, 1964, 1971]. Состав граната в значительной степени зависит от состава породы и от условий ее образования. На



**Рис. 4. Положение полей составов Fe-Mg-гранатов из различных источников на тройных диаграммах.**

*а:* 1 — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья, 2 — Анабарский щит, 3 — тр. Удачная; *б:* 1 — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья; 2 — трубки Ботубинская, Нюрбинская; 3 — коровые ксенолиты из кимберлитов [Специус, Серенко, 1990]; *в:* 1 — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья; 2 — Mg-Fe-гранаты, дайка Выход (Гвинея).

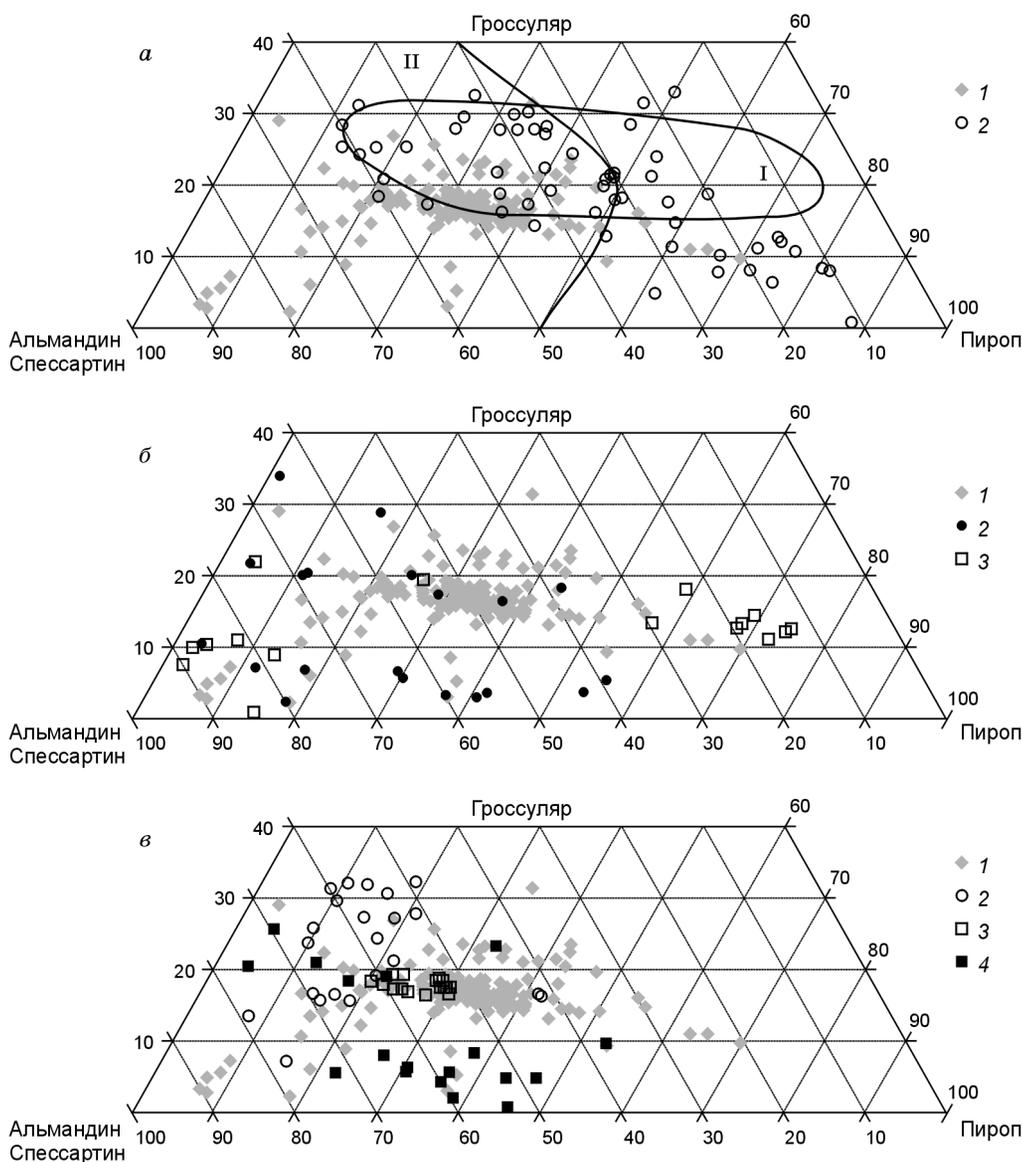
основании этого ранее были выделены наиболее общие генетические типы гранатов [Troger, 1959; Соболев, 1964].

По содержанию Са-компонента выделяются три основные разновидности пироп-альмандиновых гранатов, относящихся к различным генетическим типам пород [Соболев, 1964].

1. Малокальциевые гранаты Fe-Mg серии; содержание Са-компонента менее 10 мол.%. Они приурочены к наиболее распространенным гранатсодержащим породам: биотитовым гнейсам и сланцам, ставролитовым сланцам, грюнеритовым породам, гранитам, роговикам, т.е. в целом к породам с бескальциевыми фемическими минералами.

2. Fe-Mg гранаты со средним содержанием кальциевого компонента от 10 до 17 мол.%. Гранаты этой группы принадлежат к ультраосновным породам, породам с гиперстеном, кислым эффузивам, частично к эклогитам и амфиболитам. Верхняя граница соответствует предельному составу гранатов в ультраосновных породах и породах гранулитовой фации с гиперстеном.

3. Гранаты с высоким содержанием Са-компонента, больше 17 мол.%. К данной группе относятся гранаты из эклогитов и дистеновых эклогитов, из диопсидовых пород гранулитовой фации, амфиболитов. Все гранаты данной группы относятся к парагенезисам с кальцийсодержащими фемическими минералами.



**Рис. 5. Положение полей составов Fe-Mg-гранатов из различных источников на тройных диаграммах.**

*a:* 1 — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья; 2 — из эклогитов метаморфических комплексов [Соболев, 1974]; I — поле эклогитовой фации; II — поле гранулитовой фации [Соболев, 1974].  
*б:* 1 — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья; 2 — из базитов Сибирской платформы [Округин, Махотко, 1979]; 3 — из базитовых трубок взрыва Малоботубинского района [Ротман и др., 1984].  
*в:* 1 — из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья; 2 — из амфиболитов метаморфических комплексов [Соболев, 1974]; 3 — из ксенолитов гранатовых гранулитов тр. Загадочная [Бузлукова и др., 2004]; 4 — из гранулитов метаморфических комплексов [Соболев, 1974].

Среди пироп-альмандиновых гранатов Муно-Мархинского междуречья также можно выделить три группы по содержанию Са-компонента и железистости. В таблицах 1, 2 представлены данные для сравнительной характеристики групп гранатов Муно-Мархинской территории с пироп-альмандинами известных минеральных парагенезисов, характерных для кимберлитов Сибирской платформы.

Первая группа гранатов Муно-Мархинского междуречья относится к малокальциевым, как и гранаты из современного аллювия Анабарского шита. Среднее содержание Са-компонента в обоих объектах около 8.6 и 8.2 мол.% соответственно. Это объясняется тем, что на Анабарском шите максимальным распространением пользуются гнейсы и кристаллические сланцы [Вишневский, 1978], а его метаморфические серии уверенно фиксируются под осадочным чехлом в Далдыно-Алакитском районе [Строение..., 1986; Розен и др., 1988; Специус, Серенко, 1990]. В расположении полей составов гранатов Анабарского шита наблюдается следующая особенность: точки составов на диаграмме расположены двумя группами, гра-

Таблица 1. Характеристика пироп-альмандиновых гранатов по химическому составу

Место отбора пород, лит. источник	Минеральная ассоциация	Количество анализов	Компонент, мол.%		<i>f</i> , %
			Mg (min-max)	Ca (min-max)	(min-max)
Муно-Мархинское междуречье 1*	—	18	18.1 (6.6—37.1)	8,6 (2.3—14.6)	86.1 (71.2—95.7)
Муно-Мархинское междуречье 2*	—	122	32.1 (15.8—50.1)	16.9 (14.1—22.5)	74.3 (59.6—97.3)
Муно-Мархинское междуречье 3*	—	24	40.9 (18.6—67.8)	20.3 (9.6—31.4)	62.6 (37.5—77.6)
Анабарский щит*	—	69	27.4 (1.1—39.1)	8.2 (0.8—24.0)	78.8 (55.3—97.7)
Тр. Удачная**	—	45	27.3 (19.4—34.3)	17.3 (14.7—19.7)	78.7 (65.3—85.6)
Гранатовые гранулиты тр. Загадочная [Бузлукова и др., 2004]	Grt + Cpx + Pl ± Hbl ± ± Rt ± Qtz	16	26.3 (21.6—30.3)	17.6 (16.2—18.9)	78.6 (75.3—84.4)
Гранатовые гранулиты тр. Удачная [Шацкий и др., 2005]	Grt + Cpx + Pl ± Орх ± ± Amp ± Scp ± Rt ± Ap ± ± Zrn ± Ky ± Ilm ± Bt	4	28.1 (21.3—35.7)	16.8 (16.0—17.4)	77.6 (70.2—84.1)
Железистые эклогиты тр. Удачная, [Специус, Серенко, 1990]	Cpx + Grt ± Ilm ± Rt ± C	9	36.7 (27.0—45.7)	23.0 (12.4—35.6)	65.4 (57.4—73.2)
Трубки Ботуобинская, Нюрбинская**	—	16	28.4 (23.9—32.6)	18.7 (28.7—15.7)	76.8 (79.9—73.7)
Ксенолиты кристаллического фундамента [Специус, Серенко, 1990]	Pl + Grt + Dy ± Bt	9	34.0 (26.7—44.0)	15.5 (11.3—21.0)	71.9 (60.7—79.2)
»	Pl + Grt + Dy + Amp ± Bt	4	31.5 (28.3—35.3)	15.6 (12.4—17.1)	75.0 (71.0—78.3)
»	Pl + Bt ± Kfsp + Grt	8	39.3 (27.0—58.3)	15.7 (10.9—21.4)	59.9 (22.0—79.8)
Гранатовые гранулиты Лесото [Griffin et al., 1979]	Grt + Cpx + Pl ± Орх ± ± Amp ± Rt ± Ilm	25	38.9 (16.3—54.7)	17.9 (10.4—29.4)	65.5 (47.1—88.3)
Гранатовые гранулиты Колорадо [Bradley, McCallum, 1984]	»	6	37.3 (19.4—48.3)	17.3 (15.0—21.4)	68.4 (57.8—84.9)

Примечание. Grt, Cpx, Dy, Орх, Pl, Kfsp, Amp, Scp, Rt, Ap, Zrn, Ky, Ilm, Bt, Qtz, Hbl, C — соответственно гранат, клинопироксен, диопсид, ортопироксен, плагиоклаз, калишпат, амфибол (в большинстве случаев роговая обманка), скаполит, рутил, апатит, циркон, кианит, ильменит, биотит, кварц, роговая обманка, графит.

\* Гранаты из шлиховых проб.

\*\* Гранаты из концентрата кимберлита.

ница между которыми проходит на уровне 10 мол.% Са-компонента. В это же поле попадают значения составов гранатов из гранулитов и частично из амфиболитов (см. рис. 5, в) [Соболев, 1964]. Вторая область на диаграмме частично перекрывается с полем составов пироп-альмандиновых гранатов Муно-Мархинского междуречья.

Вторая, самая многочисленная (74 %), группа пироп-альмандиновых гранатов Муно-Мархинского междуречья (см. табл. 1, 2) аналогична гранатам трубок Удачная, Нюрбинская, Ботуобинская, а также гранатам из ксенолитов гранатовых гранулитов тр. Загадочная [Бузлукова и др., 2004]. Они имеют сходные средние содержания Са-компонента — 16.9, 17.3, 18.7, 17.6 мол.% соответственно и близкую железистость  $f = 74.3, 79.0, 76.8, 78.6$  % (см. рис. 4, а, б, 5, в). Гранаты из коровых ксенолитов кимберлитов тр. Удачная парагенезисов Pl + Gar + Dy + Bt, Pl + Gar + Kfsp + Bt, Pl + Gar + Dy + Horn + Bt (обозначения минералов согласно [Kretz, 1983]) имеют близкие средние значения Са-компонента — 15.5, 15.7, 15.6 мол.% (см. табл. 1) и расположены на границе между второй и третьей группами гранатов. Согласно данным В.С. Шацкого и др. [2005], а также Л.В. Бузлуковой и др. [2004], в нижней коре Далдын-Алакитского района широко распространены гранулиты основного состава (51 % от всех изученных ксенолитов тр. Удачная и 60 % тр. Загадочная): Grt + Cpx + Pl ± Орх ± Amp ± Scp ± Rt ± Ap ± ± Zrn ± Ky ± Ilm ± Bt, Grt + Cpx + Pl ± Hbl ± Rt ± Qtz (см. табл. 1). Гранулитовый комплекс включений в Далдынском поле наполовину состоит из метабазитов, характеризует нижние уровни коры Мархинского гранит-зеленокаменного террейна (глубины порядка 20—30 км) и не имеет аналогов среди гранулитовых комплексов, обнаженных на поверхности [Розен и др., 2002]. По соотношению содержаний Са-компонента и железистости гранатов они также относятся к данной группе. Исходя из приведенных данных, можно полагать, что большая часть пироп-альмандиновых гранатов из ксенолитов в кимберлитах соответствует гранатам из гранат-двупироксеновых пород гранулитовой и переходной к эклогитовой фации области [Соболев, 1964; Удовкина, 1985; Специус, Серенко, 1990]. Данная картина наблюдается на диаграммах, где, кроме гранатов Муно-Мархинского междуречья, показано распределение состава пироп-аль-

Таблица 2. Химический состав широн-альмандиновых гранатов

Компонент	Гранаты Муно-Мархинского междуречья, группа 1										Гранаты Муно-Мархинского междуречья, группа 2									
	37.5	36.7	39.0	36.7	36.8	37	37.8	37.7	38.1	39.5	40.2	40.2	39.3	39.6	39.4	39.7	39.2	39.3		
SiO <sub>2</sub> , мас. %	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
TiO <sub>2</sub>	20.7	20.2	21.4	20.0	19.8	20.4	19.7	20.5	21.9	21.4	21.4	20.7	21.4	21.3	21.5	21.2	21.6	—		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0	0.03	0	0	0	0.07	0.03	0.12	0.06	0.06	0.01	0.07	0.03	0.06	0.01	0.05	—		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.4	40.2	28.7	40.6	39.4	38.0	33.8	30.3	22.9	21.9	21.9	23.2	22.6	23.6	22.1	24.8	24.1	—		
FeO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
MnO	4.56	2.21	9.70	2.13	1.96	2.06	3.78	5.63	10.15	10.84	10.84	10.49	10.64	9.96	10.79	9.07	9.25	—		
MgO	0.83	0.50	1.15	0.42	1.96	2.50	3.14	4.88	5.35	5.42	5.42	5.58	5.62	5.63	5.71	5.61	5.7	—		
CaO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Na <sub>2</sub> O	100.0	99.81	99.98	99.85	99.94	99.96	99.78	99.79	99.92	99.82	99.82	99.28	99.93	99.92	99.86	99.89	100	—		
Сумма	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	3.02	3.03	3.00	3.04	3.04	3.02	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01	—		
Si, ф.е.	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—		
Ti	1.96	1.95	1.95	1.93	1.91	1.95	1.86	1.86	1.96	1.91	1.91	1.87	1.92	1.92	1.92	1.92	1.95	—		
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—		
Cr	2.44	2.75	1.85	2.78	2.70	2.58	2.24	2.27	2.00	1.39	1.39	1.49	1.44	1.51	1.40	1.59	1.54	—		
Fe <sub>общ</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Mn	0.54	0.27	1.11	0.26	0.24	0.25	0.66	0.45	1.15	1.22	1.22	1.20	1.20	1.13	1.22	1.04	1.05	—		
Mg	0.07	0.04	0.10	0.04	0.17	0.22	0.27	0.42	0.44	0.44	0.44	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	—		
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Na	8.02	8.02	8.02	8.02	8.03	8.01	8.05	8.04	8.03	8.00	8.00	8.04	8.03	8.03	8.02	8.03	8.02	—		
Сумма	17.8	8.8	36.4	8.4	7.7	8.2	20.8	14.4	21.3	40.1	40.1	38.1	38.9	36.6	39.5	33.6	34.4	—		
Пироп, мол. %	79.8	89.8	60.5	90.4	86.8	84.7	70.7	72.2	64.4	45.5	45.5	47.3	46.4	48.6	45.4	51.5	50.3	—		
Альмандин	2.30	1.43	3.01	1.20	5.47	7.14	8.49	13.14	14.15	14.2	14.2	14.6	14.6	14.8	14.9	14.9	15.1	—		
Гроссуляр	0.03	0.00	0.09	0.00	0.06	0.00	0.00	0.22	0.09	0.18	0.18	0.03	0.21	0.09	0.18	0.03	0.15	—		
Уваровит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		



Компонент	Гр. Удачная										Трубки Ботубобинская, Нюрбинская									
	39.1	38.9	39.1	39.2	39.4	38.5	39.1	39.1	39.0	39.0	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.0	39.1	39.1	39.0	39.1
SiO <sub>2</sub> , мас. %	39.1	38.9	39.1	39.2	39.4	38.5	39.1	39.1	39.0	39.0	39.1	39.1	39.1	39.1	39.0	39.1	39.1	39.0	39.1	39.3
TiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.3	21.0	21.0	21.3	21.2	21.0	21.2	21.0	21.4	21.8	22.2	22.7	22.7	21.9	21.9	21.4	21.9	21.9	21.9	22.7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.02	0.01	0.00	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.01	0.07	0.03	0.01	0.01
FeO	24.8	26.1	26.0	25.1	25.6	26.7	25.6	25.8	26.2	25.1	23.8	24.5	24.4	24.2	24.2	24.7	24.4	24.2	24.7	23.0
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MgO	8.71	7.81	7.74	8.51	8.06	7.26	7.36	7.85	7.53	7.51	7.15	7.42	7.43	7.11	7.11	7.70	7.11	7.70	8.42	8.20
CaO	5.86	5.89	6.07	6.13	6.15	6.2	6.23	6.25	6.25	6.60	7.79	6.76	6.51	7.77	7.77	6.27	6.21	6.21	5.83	6.91
Na <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	99.9	99.7	99.9	100.2	100.5	99.7	99.5	100.0	100.4	100.0	100.1	100.1	100.2	100.0	100.0	100.1	100.0	100.0	99.8	100.1
Si, ф.е.	3.01	3.02	3.02	3.01	3.02	3.00	3.03	3.02	3.01	3.00	3.00	3.00	2.99	3.00	3.00	3.01	3.00	3.00	3.01	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.93	1.92	1.91	1.93	1.92	1.93	1.94	1.91	1.94	1.98	2.01	2.02	2.05	1.99	1.99	2.01	1.99	2.01	1.94	2.04
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>общ</sub>	1.60	1.69	1.68	1.61	1.64	1.74	1.66	1.67	1.69	1.62	1.53	1.57	1.56	1.56	1.56	1.59	1.56	1.56	1.59	1.46
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	1.00	0.90	0.89	0.97	0.92	0.84	0.85	0.90	0.86	0.86	0.82	0.85	0.85	0.82	0.82	0.88	0.82	0.88	0.97	0.93
Ca	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.54	0.64	0.56	0.53	0.64	0.64	0.52	0.51	0.64	0.51	0.56
Na	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	8.02	8.02	8.02	8.03	8.02	8.03	8.00	8.02	8.02	8.01	7.99	7.99	7.98	8.00	8.00	8.00	8.01	8.00	8.02	7.99
Пирроп, мол. %	32.5	29.3	29.0	31.5	30.0	27.2	28.1	29.3	28.2	28.5	27.4	28.5	28.8	27.1	27.1	29.5	27.1	29.5	31.5	31.4
Альмандин	51.9	54.9	54.7	52.2	53.5	56.1	54.8	54.0	55.0	53.5	51.2	52.8	53.1	51.7	51.7	53.3	51.8	51.8	51.8	49.5
Гроссуляр	15.5	15.8	16.3	16.3	16.3	16.6	17.0	16.7	16.7	18.0	21.4	18.5	18.1	21.2	21.2	17.3	16.7	17.3	16.7	19.0
Уваровит	0.24	0.06	0.03	0.00	0.12	0.09	0.09	0.09	0.12	0.03	0.09	0.15	0.06	0.09	0.09	0.00	0.03	0.09	0.03	0.03

Компонент	Дайка Выход (Гвинея)									
	39.3	39.3	38.6	38.9	38.5	38.7	38.9	38.6	38.6	38.6
SiO <sub>2</sub> , мас. %	39.3	39.3	38.6	38.9	38.5	38.7	38.9	38.6	38.6	38.6
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.06	0.04	0.07	0.08	0.07	0.04	0.07	0.07	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.3	21.6	21.0	20.9	20.6	20.5	21.0	20.6	20.6	20.9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.05	0.08	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.03	0.01
FeO	23.2	23.4	24.7	25.8	26.3	26.3	25.5	25.7	25.7	25.7
MnO	0.50	0.61	0.65	0.65	0.64	0.66	0.80	0.44	0.44	0.64
MgO	9.64	9.16	8.45	7.21	7.07	7.09	7.49	7.61	7.61	7.15
CaO	5.78	5.80	5.87	6.43	6.52	6.54	6.54	6.60	6.60	6.65
Na <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	99.83	99.98	99.39	99.96	99.73	99.88	100.27	99.65	99.65	99.69
Si, ф.е.	3.01	3.01	3.00	3.02	3.01	3.02	3.01	3.01	3.01	3.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.92	1.95	1.92	1.91	1.90	1.88	1.91	1.89	1.89	1.92
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>общ</sub>	1.48	1.50	1.60	1.67	1.72	1.71	1.65	1.67	1.67	1.67
Mn	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04
Mg	1.10	1.04	0.98	0.83	0.82	0.82	0.86	0.88	0.88	0.83
Ca	0.47	0.48	0.49	0.53	0.55	0.55	0.54	0.55	0.55	0.56
Na	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	8.03	8.01	8.04	8.02	8.04	8.04	8.03	8.04	8.04	8.03
Пироп, мол. %	35.6	34.2	31.4	27.0	26.3	26.3	27.8	28.2	28.2	26.8
Альмандин	48.0	49.0	51.5	54.3	54.9	54.8	53.1	53.4	53.4	54.0
Гроссуляр	15.0	15.2	15.3	17.1	17.1	17.2	17.3	17.3	17.3	17.7
Уваровит	0.09	0.15	0.25	0.00	0.06	0.06	0.00	0.09	0.09	0.03

мандиновых гранатов из ксенолитов метаморфических пород в кимберлитах и эклогитов из метаморфических комплексов (см. рис. 4, б, 5, а).

Гранаты пироп-альмандинового ряда кимберлитовой дайки Выход (Гвинея) с содержанием MgO менее 13 мас.% имеют содержание Са-компонента, равное 19.9 мол.% и, соответственно, относятся к третьей группе (см. рис. 4, в, табл. 1).

Пироп-альмандиновые гранаты из шлиховых проб Муно-Мархинского междуречья, имеющие среднее значение содержания Са-компонента ~20 мол.% и железистость 63 %, вместе с гранатами тр. Удачная из ксенолитов эклогитов, железистых эклогитов относятся к третьей — высококальциевой группе. Содержание Са-компонента колеблется от 10 до 31 мол.% и увеличивается с повышением железистости гранатов (см. рис. 5, а). Такое соотношение компонентов характерно для эклогитового парагенезиса граната и клинопироксена (см. табл. 1) [Соболев, 1964; Бобриевич и др., 1964].

В табл. 1 также приведены данные по химическому составу гранатов из ксенолитов гранулитов в кимберлитах Лесото (Южная Африка) [Griffin et al., 1979] и Колорадо (Северная Америка) [Bradley, McCallum, 1984]. Гранаты из гранулитов парагенезиса  $\text{Grt} + \text{Cpx} + \text{Pl} \pm \text{Opx} \pm \text{Amp} \pm \text{Rt} \pm \text{Ilm}$  характеризуются высоким содержанием Са-компонента (среднее значение 17.9 и 17.3 мас.% соответственно) и пониженной железистостью (65.5, 68.4 %). В этих ксенолитах отмечен постепенный переход от гранатовых гранулитов к эклогитам и гранатовым пироксенитам (Pl от 50 до менее 1 %) [Griffin et al., 1979].

Гранаты из базитовых трубок взрыва Малоботуобинского района, а также из трапповых интрузивов различных районов Сибирской платформы, представлены на диаграмме (см. рис. 5, б). Химизм данных гранатов изменяется в пределах пироп-альмандиновой и гроссуляр-альмандиновой серий твердых растворов и включает составы, характерные для оранжевых гранатов Муно-Мархинского междуречья. По данным А.Я. Ротмана и др. [1984], а также А.В. Округина, В.Ф. Махотко [1979], оранжевые пироп-альмандины, богатые кальцием, представлены в породах данных объектов в количестве от единичных знаков до первых процентов, поэтому вряд ли могут существенно влиять на состав шлиховых ассоциаций гранатов.

Сравнительный анализ приведенных выше данных показал сходство по ряду признаков пироп-альмандиновых гранатов второй группы Муно-Мархинского междуречья и аналогичных гранатов из кимберлитовых трубок Удачная, Нюрбинская, Ботуобинская, дайки Выход (Гвинея), гранатов из коровых ксенолитов трубок Удачная и Загадочная (по содержанию MgO, CaO, FeO и, соответственно, по содержанию Са-компонента и железистости), что отчетливо видно и на тройной диаграмме (альмандин + спессартин—пироп—гроссуляр), где фигуративные точки пироп-альмандиновых гранатов из перечисленных источников находятся в одном поле (см. рис. 4, 5, в, табл. 1).

Таким образом, наблюдается следующая картина:

— поле составов гранатов первой группы на территории Муно-Мархинского междуречья соответствует гранатам пород, экспонированных на поверхности щитов и являющихся обычным компонентом самых разных осадочных образований;

— поле составов пироп-альмандиновых гранатов второй группы на территории Муно-Мархинского междуречья полностью перекрывается с полем составов пироп-альмандинов из концентрата трубок Удачная, Ботуобинская, Нюрбинская, а также с полем составов гранатов из коровых ксенолитов в кимберлитах тр. Удачная и тр. Загадочная;

— поле составов пироп-альмандиновых гранатов третьей группы Муно-Мархинского междуречья находится в поле составов пироп-альмандинов эклогитовых ксенолитов из кимберлитов;

— в шлиховых пробах из аллювиальных отложений Муно-Мархинского междуречья доминируют гранаты второй группы.

## ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ особенностей состава пироп-альмандиновых гранатов Муно-Мархинского междуречья и типов их потенциальных источников позволяет сделать вывод, что источниками большей части оранжевых пироп-альмандиновых гранатов данной территории являются, скорее всего, кимберлитовые тела, содержащие переменное количество дезинтегрированного корового материала. Исходя из очень высоких пропорций гранатов нижнекоровых парагенезисов в кимберлитах Далдыно-Алакитского района и Накынского поля (до 70 % по классам крупности  $-2 \dots +0.5$  мм), можно предположить, что лишь кимберлиты могли вынести на поверхность в достаточно большом количестве гранаты нижних частей коры, которые нигде на Сибирской платформе не экспонированы на дневной поверхности. В базитовых трубках взрыва и интрузиях траппов также содержатся гранаты коровых парагенезисов. Однако особенности распределения их составов и гранулометрия, наряду с крайне незначительной долей нижнекоровых гранатов в материале шлиховых ореолов Малоботуобинского района, где широко развиты базитовые трубки взрыва, не позволяют предполагать высокую роль источников данного типа в комплексах оранжевых гранатов Муно-Мархинского междуречья. Поэтому оранжевые гранаты пироп-альман-

динового состава с повышенным содержанием кальция могут быть использованы как индикаторы кимберлитов, наряду с гранатами мантийных парагенезисов, при проведении прогнозно-поисковых работ на алмазы на изученной территории.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Агашев А.М., Похиленко Н.П., Толстов А.В., Поляничко В.В., Мальковец В.Г., Соболев Н.В.** Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // Докл. РАН, 2004, т. 399, № 1, с. 95—99.

**Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.** Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001а, 276 с.

**Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П., Кривонос В.Ф., Яныгин Ю.Т.** Роль карста в формировании россыпной алмазоносности Муно-Мархинского междуречья (Якутская алмазоносная провинция, Россия) // Геология рудных месторождений, 2001б, № 3, с. 262—267.

**Бобриневич А.П., Илупин И.П., Козлов И.Т., Лебедева Л.И., Панкратов А.А., Смирнов Г.И., Харькив А.Д.** Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. М., Недра, 1964, 191 с.

**Брахфогель Ф.Ф., Ковальский В.В.** О денудационном срезе на территории Анабарской антеклизы и сопредельных структур // Геология и полезные ископаемые Якутии. Якутск, Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1970, с. 65—66.

**Бузлукова Л.В., Шацкий В.С., Соболев Н.В.** Особенности строения низов земной коры в районе кимберлитовой трубки Загадочная (Якутия) // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (8), с. 992—1007.

**Вишневский А.Н.** Метаморфические комплексы Анабарского кристаллического щита. Л., Недра, 1978, 214 с.

**Гайдук В.В.** Виллойская среднепалеозойская рифтовая система. Якутск, Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1988, 127 с.

**Дэвис Г.Л., Соболев Н.В., Харькив А.Д.** Новые данные о возрасте кимберлитов Якутии, полученные уран-свинцовым методом по цирконам // Докл. АН СССР, 1980, т. 254, № 1, с. 175—179.

**Кинни П.Д., Гриффин Б.Дж., Хеамэн Л.М., Брахфогель Ф.Ф., Специус З.В.** Определение U-Pb возрастов перовскитов из якутских кимберлитов ионно-ионным масс-спектрометрическим (SHRIMP) методом // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (1), с. 91—99.

**Константиновский А.А.** Нижнеленский погребенный массив и некоторые вопросы размещения кимберлитов на северо-востоке Сибирской платформы // Геотектоника, 1979, № 1, с. 48—57.

**Левченко О.А., Гайдамако И.М., Левский Л.К., Комаров А.Н., Яковлева С.З., Ризванова Н.Г., Макеев А.Ф.** U-Pb возраст циркона из кимберлитовых трубок Мир и 325 лет Якутии // Докл. РАН, 2005, т. 400, № 2, с. 233—235.

**Округин А.В., Махотко В.Ф.** Протокристаллы гранатов в базитах Сибирской платформы // Минералогия и геохимия кимберлитовых и трапповых пород. Якутск, Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1979, с. 87—99.

**Розен О.М., Андреев В.П., Белов А.Н., Бибикина Е.В., Злобин В.Л., Ляпунов С.М., Милановский С.Ю., Ножкин А.Д., Рачков В.С., Солюшкин В.Е., Суханов М.К., Шахотько Л.И.** Архей Анабарского щита и проблемы ранней эволюции Земли. М., Наука, 1988, 253 с.

**Розен О.М., Журавлев Д.З., Суханов М.К., Бибикина Е.В., Злобин В.Л.** Изотопно-геохимические и возрастные характеристики раннепротерозойских террейнов, коллизионных зон и связанных с ними анортозитов на северо-востоке Сибирского кратона // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (2), с. 163—180.

**Розен О.М., Серенко В.П., Специус З.В., Манаков А.В., Зинчук Н.Н.** Якутская кимберлитовая провинция: положение в структуре сибирского кратона, особенности состава верхней и нижней коры // Геология и геофизика, 2002, т. 43 (1), с. 3—26.

**Ротман А.Я., Серенко В.П., Округин А.В., Иванов А.Г., Махотко В.Ф.** Гранаты из базитовых трубок взрыва Западной Якутии // Докл. АН СССР, 1984, т. 276, № 3.

**Соболев Н.В.** Парагенетические типы гранатов М., Наука, 1964, 240 с.

**Соболев Н.В.** О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика, 1971 (3), с. 70—80.

**Соболев Н.В.** Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, Наука, 1974, 265 с.

**Специус З.В., Серенко В.П.** Состав континентальной верхней мантии и низов коры под Сибирской платформой. М., Наука, 1990, 272 с.

**Строение земной коры Анабарского щита /** Под ред. О.М. Розена, А.Н. Вишневского, М.В. Глуховского. М., Наука, 1986, 197 с.

**Тектоника**, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М., Маик «Наука/Интерпериодика», 2001, 571 с.

**Удовкина Н.Г.** Эклогиты СССР. М., Наука, 1985, 285 с.

**Шацкий В.С., Бузлукова Л.В., Ягоуц Э., Козьменко О.А., Митюхин С.И.** Строение и эволюция нижней коры Далдын-Алакитского района Якутской аламазоносной провинции (по данным изучения ксенолитов) // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (12), с. 1273—1289.

**Bradley S.D., McCallum M.E.** Granulite facies and related xenoliths from Colorado-Wyoming Kimberlite / Ed. J. Kornprobst // Kimberlites, II: the mantle and crust-mantle relationships. Proceedings of the Third International Kimberlite Conference, Elsevier, Amsterdam, 1984, v. II, p. 205—217.

**Griffin W.L., Carswell D.A., Nixon P.H.** Lower-crustal granulites and eclogites from Lesotho, southern Africa / Eds. F.R. Boyd, H.O.A. Meyer // The mantle sample: inclusions in kimberlites and other volcanics. Proceedings of the 2nd International Kimberlite Conference, American Geophysical Union, Washington, D.C., U.S.A., 1979, v. 2, p. 59—86, 1979.

**Kretz R.** Symbols for rock-forming minerals // Amer. Miner., 1983, v. 68, p. 277—279.

**Troger U.E.** Die Granatgruppe: Beziehungen zwischen Mineralchemismus und Gesteinsart // Neues Jahrb. Mineral., 1959, p. 1—44.

*Рекомендована к печати 18 июля 2007 г.  
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию  
18 июля 2007 г.*