

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 552.323.6

**НОВОЕ ТЕЛО ВЫСОКОАЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ
В НАКЫНСКОМ ПОЛЕ ЯКУТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ**

А.В. Толстов, В.А. Минин*, В.Б. Василенко*, Л.Г. Кузнецова*, А.Н. Разумов

АК «АЛРОСА», Ботуобинская ГРЭ, 678170, г. Мирный, ул. Ленина, 44б, Россия

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

Приведены первые результаты исследования содержаний главных оксидов и редкоземельных элементов в породах, а также составов пиропов и альмандинов недавно открытого кимберлитового тела Майское Накынского поля Якутской кимберлитовой провинции.

Кимберлиты характеризуются низкими содержаниями титана, небольшим преобладанием магния над кальцием и наличием составов с повышенными концентрациями K_2O . Для пиропов установлены высокие количества хрома (до 14,5 мас.% Cr_2O_3) и значительная доля (~16 %) в их составе разностей с низкими концентрациями кальция. По петрогеохимическим и минералогическим характеристикам кимберлиты Майского тела комплементарны высокоалмазонасным кимберлитам расположенных рядом Ботуобинской и Нюрбинской трубок. При этом они не являются заключительным звеном эволюционного развития кимберлитового магматизма Накынского поля, что значительно расширяет поисково-разведочные перспективы.

Кимберлиты, пиропы, хромшпинелиды, петрохимия, Якутия.

**A NEW BODY OF HIGHLY DIAMONDIFEROUS KIMBERLITES IN THE NAKYN FIELD
OF THE YAKUTIAN KIMBERLITE PROVINCE**

A.V. Tolstov, V.A. Minin, V.B. Vasilenko, L.G. Kuznetsova, and A.N. Razumov

We report the first data on the contents of main oxides and REE in rocks and the compositions of pyropes and almandines from the Maiskoe kimberlite body recently discovered in the Nakyn field of the Yakutian kimberlite province.

The kimberlites are characterized by low contents of Ti, a slight domination of Mg over Ca, and high contents of K_2O in some samples. The pyropes have high contents of Cr_2O_3 (up to 14.5 wt.%); many of them (~16%) are poor in Ca. In petrochemical and mineralogical features the kimberlites of the Maiskoe body are complementary to the highly diamondiferous kimberlites of the nearby Botuobinskaya and Nyurbinskaya pipes. At the same time, they are not the final link in the evolution of kimberlite magmatism in the Nakyn field, which makes the latter still more promising for diamonds.

Kimberlites, pyropes, Cr-spinel, petrochemistry, Yakutia

ВВЕДЕНИЕ

Открытые в последнюю декаду прошлого столетия кимберлиты Накынского поля оказались наиболее высокопродуктивными среди пород Якутской алмазонасной провинции, что предопределило повышенный интерес исследователей к выявлению их типоморфных особенностей. Были, в частности, установлены повышенная калиевоность, обедненность индикаторными минералами, их пироп-хромшпинелидовая специализация, изотопные, геохимические характеристики и др. Тем не менее материалы по сравнительному изучению пород собственно Накынского поля, позволяющие рассмотреть пространственно-временную эволюцию высокоалмазонасного кимберлитового магматизма, оставались весьма скудными. В первую очередь потому, что в пределах поля до последнего времени были известны только две трубки и дайка. Обнаружение геологами Ботуобинской ГРЭ в 2006 г. нового кимберлитового тела, получившего название «Майское», позволяет значительно восполнить существующий пробел.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И СТРОЕНИЕ МАЙСКОГО ТЕЛА

Тело Майское располагается в среднем течении р. Марха, на водораздельной части ее левых притоков Ханья и Накын. В непосредственной близости от нее разведаны Ботубинская и Нюрбинская трубки, а также Мархинское дайкоподобное тело. Считается, что все они слагают один из фрагментов обширного Накынского кимберлитового поля, входящего в состав Вилуйско-Мархинской алмазонасной зоны, в южной части которой локализовано Мирнинское и прогнозируются другие (Ыгыаттинское, Тенкеляхское, Среднесалакутское) поля кимберлитов [Толстов и др., 2003а,б; Толстов, Невлютов, 2005; Толстов, Пономарев, 2005]. Зона приурочена к юго-восточному флангу Анабарской антеклизы — крупной тектонической структуры Сибирской платформы. В пределах антеклизы выделяются два структурных этажа: нижний — архейский, являющийся фундаментом платформы, и верхний, соответствующий осадочному чехлу. Глубина залегания фундамента в районе Накынского поля составляет 4 км.

Верхний структурный этаж подразделяется на рифейский, венд-нижнепалеозойский, среднепалеозойский, верхнепалеозойский, мезозойский и кайнозойский структурные ярусы [Тектоника..., 2001]. Кимберлиты Накынского поля прорывают терригенно-карбонатные отложения венд-нижнепалеозойского яруса и перекрываются терригенными породами мезозоя. Мощность последних в районе Майского тела достигает 90 м.

Тело Майское характеризуется гантелеобразной вытянутой в северо-восточном направлении формой (рис. 1). Ширина южного раздува составляет 80—85 м, северного — порядка 60 м. Непосредственно под мезозойским чехлом северный раздув диатремы сложен исключительно кимберлитовыми брекчиями, среди которых по наличию сферических обособлений кимберлитового материала можно выделить автолитовые их разновидности. На более глубоких горизонтах кимберлитовые брекчии вытесняются порфирированными кимберлитами.

Макроскопически **кимберлитовые брекчии** представляют собой породы темно-серого с различными оттенками цвета, массивной текстуры и брекчиевой структуры. Наряду с массивными в них нередко проявлены пятнистые, такситовые, шаровые текстуры, обусловленные неравномерностью распределения и различной окраской ксеногенного материала (обломки вмещающих терригенно-карбонатных пород и фрагменты фундамента — гранат-пироксен-плаггиоклазовые гнейсы), а также наличием сингенетических брекчии сферических автолитов. Связующая масса брекчий состоит из порфировых вкрапленников оливина и флогопита, погруженных в серпентин-карбонат-флогопитовый базис. По размерам вкрапленники оливина занимают весь диапазон от 0.2 до 15—20 мм. По форме они варьируют от округлых, лишенных кристаллической огранки индивидов, до идиоморфных кристаллов. С уменьшением размеров степень идиоморфизма оливиновых выделений возрастает. Оливин полностью замещен серпентином. Количество вкрапленников варьирует в значительных пределах, в среднем составляя 25—30 %. Вкрапленники флогопита слагают до 3 % объема породы, они представлены таблитчатыми кристаллами от 0.5 до 3 мм в поперечнике. Гранат как акцессорная фаза встречается практически в каждом образце, в отдельных случаях достигая 0.015 % от объема породы. Образует зерна округлой формы размером 0.25—5 мм. Окрашен гранат в малиновые, лилово-малиновые либо оранжевые цвета. В сопоставимых с гранатом количествах в породах присутствуют кристаллы хромшпинелида октаэдрического или округлого габитуса. Основная масса, как правило, обнаруживает скрытокристаллическое (размер кристаллов 0.05—0.1 мм) сложение и состоит из серпентин-карбонатного агрегата со значительной примесью флогопита. Среди минералов основной массы встречаются циркон, сфалерит, пирит, пентландит.

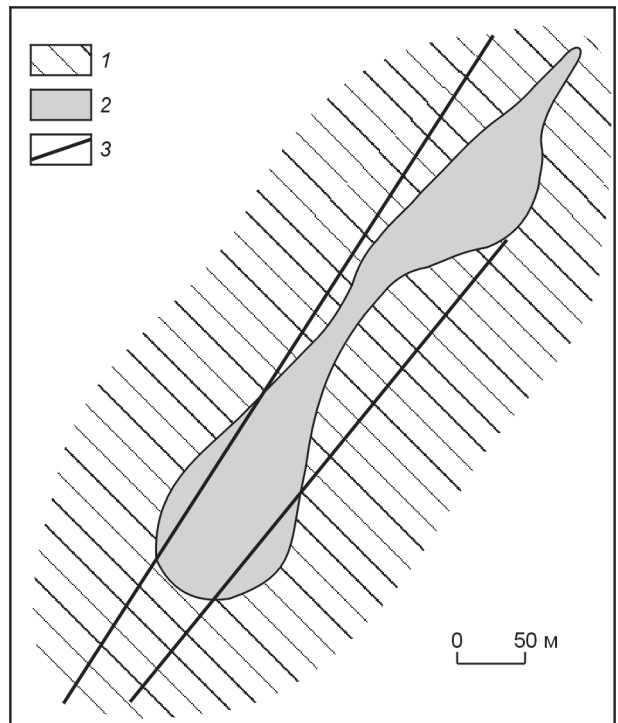
Автолиты в кимберлитовых брекчиях образуют сферические, иногда слабовытянутые тельца размером от первых миллиметров до 2—3 см. Более крупные автолиты встречаются редко. Им присуще концентрическое внутреннее строение, обусловленное плавным увеличением крупности минеральных индивидов от края к центру и субтангенциальной по отношению к поверхности автолита ориентировкой длинных осей микролитов. В краевых частях автолитовых обособлений размер минеральных зерен нередко уменьшается до скрытокристаллического, образуя подобие закалочных структур. В большей части автолитов фиксируются «затравки» или ядра, представленные кристаллами оливина и обломками вмещающих карбонатных пород. Нередко ядра бывают окружены очень тонкой сплошной или фрагментарной оболочкой автолитового материала. В этом случае создается впечатление, что ориентировка микролитов копирует очертания ядра. Структура автолита микрокристаллическая порфировая. Вкрапленники представлены изометричными табличками флогопита (0.1—0.25 мм), основная масса — агрегатом серпентин-карбонат-флогопитового состава, кристаллические составляющие которого не превышают 0.05 мм в поперечнике.

Порфиновые кимберлиты — массивные породы крупнопорфировой структуры, количество вкрапленников в которых составляет 25—35 %.

Вкрапленники в большинстве случаев представлены полными либо частичными псевдоморфозами серпентина по оливину. По размерам вкрапленники оливина варьируют от 0.2 до 20—30 мм, по форме — от округлых, лишенных кристаллической огранки индивидов, до идиоморфных кристаллов. Мак-

Рис. 1. Схема геологического строения Майского тела (составлена по материалам Ботубинской ГРЭ).

1 — терригенно-карбонатные породы венд-нижнепалеозойского яруса; 2 — кимберлиты майского тела; 3 — разрывные нарушения.



симум идиоморфных кристаллов (~50 % от суммы вкрапленников) приходится на класс 0.5—1.0 мм. Кристаллы флогопита составляют не более 1—3 % от общего количества вкрапленников, их размеры изменяются от 0.5 до 2.0 мм. Непременными составляющими породы являются гранаты и хромшпинелиды.

Основная масса сложена кристаллами оливина (<0.1 мм), замещенными серпентином, карбонатом и флогопитом. Карбонат практически во всех образцах преобладает над серпентином (оливином), в отдельных случаях полностью его вытесняя. Среди минералов основной массы встречаются циркон, сфалерит, пирит, пентландит. Структура основной массы скрытокристаллическая. Фиксируемая в отдельных образцах такситовая структура обусловлена ориентированным расположением табличек флогопита и иногда лейстовидных кристаллов карбоната.

Порфировые кимберлиты, как видно, не обнаруживают отличий от кимберлитовых брекчий, вернее, от кимберлитового цемента брекчий, ни на уровне структурных характеристик, ни на уровне минеральных парагенезисов. Детальные исследования разрезов буровых скважин Майского тела показывают, что смена одной породы другой происходит постепенно, фазовые границы между ними отсутствуют. Можно, таким образом, предположить, что порфировые кимберлиты и кимберлитовые брекчии являются крайними членами единого ряда пород, появление которого обусловлено наличием—отсутствием обломочного ксеногенного материала в соответствующей части магматической камеры. Известно, что если количество привнесенного материала относительно велико и его температура достаточно низка, то теплота, расходуемая на повышение температуры ксенолитов, заимствуется из расплава. Заимствование теплоты из расплава понижает его температуру и вызывает ускоренную кристаллизацию, что, в свою очередь, ограничивает рост порфириновых вкрапленников. На рис. 2 мы суммировали результаты измерений размеров вкрапленников оливина в автолитовой кимберлитовой брекчии и порфириновом кимберлите. Как видно, в области модальных значений в кимберлитовой брекчии заметно снижаются количества мелких вкрапленников (класс 0.6 мм²) в пользу более крупных (1.1 и 1.6 мм²). Что же касается вкрапленников площадью более 2 мм², то их частота встречаемости примерно одинакова как в порфириновых кимберлитах, так и в кимберлитовых брекчиях. Существуют две крайние точки зрения относительно природы оливиновых вкрапленников в кимберлите. Сторонники первой считают все вкрапленники оливина фенокристами, второй — ксенокристами, образовавшимися в результате дезинтеграции мантийных перидотитов. Известно, что логарифмически-нормальному распределению подчинены размеры частиц, образующихся при неограниченном продолжении дробления. Проверка распределений, приведенных на рис. 2, с помощью критериев Шапиро-Уилка и Д'Агостино (программный пакет StatPlus) показала, что

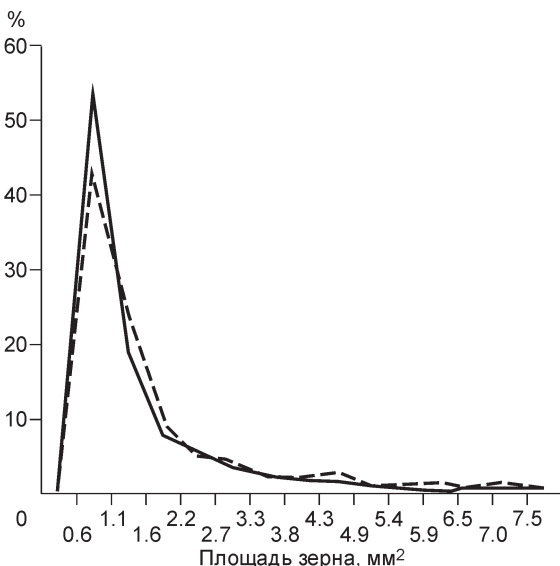


Рис. 2. Полигоны распределения размеров вкрапленников в порфириновом кимберлите (сплошная линия, $n = 944$) и автолитовой кимберлитовой брекчии (штриховая линия, $n = 411$) Майского тела.

они не относятся к разряду логнормальных. Можно, таким образом, констатировать, что наблюдаемые вариации размеров вкрапленников оливина в кимберлитах Майского тела, а следовательно, и их специфические черты, присущие порфировым и брекчиевым разностям, не связаны с дезинтеграцией ксенолитов, но обусловлены кристаллизационными процессами.

В строении южного раздува диатремы (см. рис. 1) принимают участие кимберлитовые брекчии, в значительной степени переработанные постмагматическими гидротермами, что выразилось в замещении первичных минеральных парагенезисов гранобластовым кальцит-кварцевым агрегатом. Породы этой части Майского тела в данной работе не рассматриваются.

ПЕТРОХИМИЯ

Определение содержаний породообразующих оксидов проводилось на рентгенофлуоресцентном анализаторе VRA-20R производства фирмы Карл Цейс (Иена). Диапазоны измерений содержаний породообразующих оксидов данного анализатора варьируют от 100 до долей процентов. Пределы обнаружения большинства оксидов колеблются на уровне 0.02—0.005 % и только для MgO и Na₂O составляют 0.1 и 0.2 % соответственно. Расчет концентраций оксидов по наблюдаемым замерам осуществлялся методом фундаментальных параметров [Афонин и др., 1984]. В качестве образца сравнения использовался государственный стандартный образец состава (СОС) СГД-1А (габбро эссекситовое). Для контроля за правильностью анализа каждые восемь исследуемых образцов сопровождалось замерами СОС СГ-1А (альбитизированный гранит) и МУ-4 (кимберлит). Замеры эталонов считались правильными, если полученные содержания с вероятностью 95 % при допустимой ошибке воспроизводимости не отличались от паспортных значений. Соответственно правильными принимались и восемь замеров анализируемых пород. Содержания редкоземельных элементов определялись методом инструментального нейтронно-активационного анализа [Пархоменко, 1980]. Пределы обнаружения La, Ce, Nd, Gd колеблются на уровне 1—5 г/т, Sm, Eu — 0.1—0.05, а Lu — 0.1—0.2. Все определения выполнены в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). Перед проведением аналитических работ образцы исследуемых кимберлитов дробились и тщательно освобождались от ксенолитов глубинных и вмещающих пород.

Результаты анализов приведены в табл. 1. Как видно, образцы исследованной коллекции представляют собой типичные кимберлиты [Василенко и др., 1997; Кузнецова и др., 2006] с низким содержанием титана, небольшим преобладанием магния над кальцием и наличием составов с повышенными содержаниями K₂O. На дискриминационной диаграмме TiO₂—K₂O [Smith et al., 1985; Taylor et al., 1994; Mitchell,

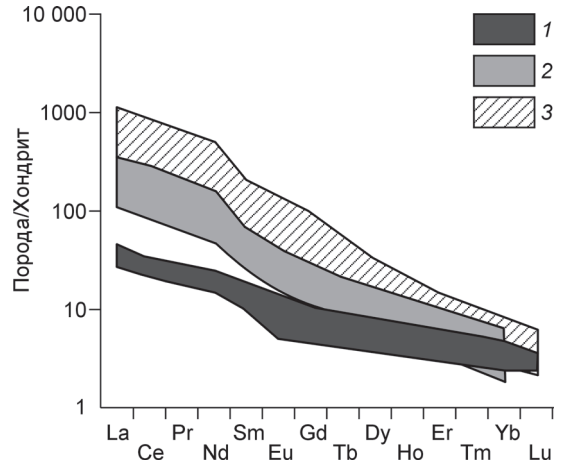
Таблица 1.

Химические составы

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂ , мас. %	22.7	23.5	22.9	18.6	28.0	22.8	32.1
TiO ₂	0.4	0.2	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4
Al ₂ O ₃	4.7	3.7	3.7	3.7	3.1	4.6	3.4
ΣFe ₂ O ₃	2.4	2.1	6.5	2.2	5.6	4.8	5.5
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MgO	16.1	15.9	19.2	9.2	26.6	17.6	27.1
CaO	21.0	20.6	21.9	30.3	14.9	25.0	12.2
Na ₂ O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
K ₂ O	2.0	1.7	0.5	1.7	0.0	0.6	1.1
P ₂ O ₅	0.4	0.3	0.7	0.5	0.6	0.5	0.5
П.п.п.	29.6	32.6	24.4	33.4	21.2	23.4	17.9
Сумма	99.5	100.6	100.3	100.0	100.5	99.6	100.3
La, г/т	12.9	8.6	13.9	8.4	13.5	12.9	11.3
Ce	26.0	23.1	24.1	17.6	30.2	20.7	19.5
Nd	13.3	9.1	14.9	9.6	15.1	12.3	11.6
Sm	2.7	1.9	3.4	2.0	3.4	2.8	2.6
Eu	0.7	0.4	0.9	0.4	1.0	1.0	0.7
Gd	2.7	1.3	2.3	1.2	3.1	2.1	2.7
Tb	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
Yb	1.0	0.8	0.5	0.8	0.7	0.7	0.6
Lu	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ΣРЗЭ	59.7	45.6	60.4	40.2	67.3	52.8	49.4
ЛРЗЭ	55.6	43.1	57.2	38.0	63.2	49.7	45.7
ТРЗЭ	4.2	2.5	3.3	2.4	4.3	3.3	3.8
ЛРЗЭ/ТРЗЭ	13.3	17.1	17.6	16.1	14.8	15.1	12.2

Рис. 3. Хондрит-нормализованные распределения редкоземельных элементов в кимберлитах Майского тела (1), кимберлитах II (2) и кимберлитах I (3) Южной Африки.

Составы кимберлитов I приведены по данным [Le Roex et al., 2003], кимберлитов II по [Fraser, Hawkesworth, 1992].



1995] их фигуративные точки образуют облако, протянувшееся вдоль оси K_2O от поля кимберлитов I в поле кимберлитов II. Уровень содержания редкоземельных элементов в кимберлитах Майского тела понижен относительно стандартных значений (рис. 3): $\Sigma PЗЭ$ варьирует от 40.2 до 60.4 г/т, $La/Yb = 10-23$. Подобными концентрациями PЗЭ характеризуются кимберлиты расположенных рядом Нюрбинской и Ботуобинской трубок [Agashev et al., 2001; Pokhilenko et al., 2003; Богатиков и др., 2004; Кононова и др., 2005]. Низкий редкоземельный фон, таким образом, можно считать отличительной типоморфной чертой кимберлитов Накынского поля.

В любом сообществе магматических горных пород становление конкретного тела или ассоциации в целом подчиняется законам котектической кристаллизации (селективного плавления), что проявляется в наличии частотных минимумов на кривых распределения того или иного порообразующего компонента. Для кимберлитов таким компонентом оказался титан. Дискретность в распределении этого оксида легла в основу представления о популяционно-видовой структуре кимберлитовой формации [Василенко и др., 1997; Кузнецова и др., 2006]. Предполагается, что химический состав популяционной группы в основном соответствует составу группы исходных расплавов, а смена первой популяции (по мере увеличения концентраций титана) второй, третьей и далее до седьмой включительно отражает эволюцию магматического очага, поднимающегося на все более высокие этажи литосферной мантии. На уровне популяции, по соотношению кальция и магния, выделяются разновидности (всего 4) — от кимберлитовых карбонатитов через собственно кимберлиты к магнезиальным их разновидностям. Среди разновидностей, в свою очередь, устанавливаются ультраосновные, слюдястые и лампрофировые вариации, отражающие

кимберлитов Майского тела

8	9	10	11	12	13	14	15
33.6	26.8	24.3	32.7	29.1	33.2	28.9	25.5
0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
3.6	5.4	3.0	4.0	3.1	3.7	3.0	3.5
5.9	3.1	4.9	6.6	7.9	6.3	6.7	5.7
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
27.6	16.2	19.6	26.2	26.0	27.5	25.6	18.9
10.0	17.6	22.1	10.8	13.7	10.1	14.5	21.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.5	2.3	0.4	1.5	0.2	1.2	0.2	0.4
0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6
17.3	27.4	25.2	17.4	19.3	17.3	20.5	23.9
100.4	99.8	100.5	100.1	100.6	100.3	100.4	100.3
10.4	12.5	9.7	9.9	12.6	11.6	9.3	10.1
19.0	25.8	16.4	20.0	23.0	21.0	17.3	20.5
9.9	13.0	11.8	11.6	13.9	12.8	8.9	10.8
2.4	2.8	2.3	2.4	2.9	3.0	2.2	2.5
0.7	0.7	0.5	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7
2.1	1.8	1.8	2.0	1.8	2.3	2.0	2.0
0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
0.6	1.1	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.6
0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
45.5	58.1	43.4	47.8	56.1	52.4	41.2	47.6
42.4	54.8	40.7	44.7	53.1	49.2	38.3	44.6
3.2	3.5	2.7	3.2	3.1	3.2	3.0	3.0
13.2	15.8	14.9	14.0	17.1	15.3	12.7	14.7

Таблица 2.

Петрохимическая классификация пород вида кимберлитов

1-й уровень. Выделение популяций. Типохимический признак TiO ₂ , мас.%							
Граничные значения	<0.4	0.41—0.60	0.61—1.00	1.01—1.40	1.41—1.80	1.81—2.20	2.21—2.80
Номера популяций	1	2	3	4	5	6	7
2-й уровень. Выделение разновидностей. Типохимический признак CaO/MgO							
Граничные значения от	>8.2		1.75		0.82		0.33
до	1.76		0.83		0.34		<0.18
Название разновидности	Кимберлитовые карбонатиты (Крб)		Карбонатитовые кимберлиты (Са-кмб)		Кимберлиты (Кмб)		Магнезиальные кимберлиты (Mg-кмб)

количества калия, участвующего в процессе (табл. 2). На величину CaO/MgO, по всей видимости, основное влияние оказывает температурный фактор, уровень калиевости определяется составом плавящегося субстрата и(или) составом флюидной фазы. Многоуровневый иерархический подход к описанию химического состава кимберлитов несет не только петрологическую нагрузку, но позволяет корректно, на единой основе проводить сопоставление составов пород, слагающих различные тела и поля в целом.

В таблице 3 приведены ранжированные по TiO₂ и CaO/MgO составы кимберлитов Ботуобинской, Нюрбинской трубок и Майского тела. Для более полного понимания введем понятие о модальных составах. К модальным относятся составы тех популяционных групп и разновидностей, которые в объеме данного тела доминируют над другими группами. При этом предполагается, что информацию о распро-

Таблица 3. Средние по популяциям и разновидностям составы кимберлитов Накынского поля

Оксид	Тр. Ботуобинская (n = 926)										Тр. Нюрбинская (n = 723)				
	1-я популяция (n = 573/68 %)				2-я популяция (n = 285/31 %)				3-я популяция (n = 68/7 %)			1-я популяция (n = 342/47.3 %)			
	Крб (33)	Са-кмб (78)	Кмб (421)	Mg-кмб (41)	Крб (11)	Са-кмб (60)	Кмб (131)	Mg-кмб (83)	Са-кмб (8)	Кмб (16)	Mg-кмб (44)	Крб (24)	Са-кмб (96)	Кмб (156)	Mg-кмб (66)
SiO ₂	17.3	24.7	31.0	32.6	21.4	27.2	30.9	32.5	24.0	28.9	32.3	17.5	23.6	28.8	32.9
TiO ₂	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.4	0.4
Al ₂ O ₃	4.2	3.9	3.4	3.1	5.2	4.8	3.7	3.4	2.9	3.4	3.5	3.6	3.8	3.6	3.4
ΣFe ₂ O ₃	3.5	4.2	5.2	6.0	3.7	4.5	5.4	6.8	6.3	6.5	6.6	4.4	4.7	5.6	6.4
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
MgO	9.4	17.7	25.2	29.7	10.7	17.2	25.2	30.6	18.9	25.4	32.0	11.1	18.1	24.2	29.9
CaO	31.2	20.3	13.1	9.1	27.5	18.8	12.9	8.0	20.9	13.1	7.0	29.8	20.5	13.4	7.9
K ₂ O	1.2	1.3	1.2	0.8	1.9	1.5	1.3	0.9	1.2	1.3	0.8	0.8	1.0	0.8	0.6
P ₂ O ₅	0.5	0.4	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.9	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
П.п.п.	32.1	26.9	20.2	18.1	28.5	25.3	19.6	16.8	23.9	20.1	16.4	31.7	27.6	23.0	17.8

Окончание табл. 3

Оксид	Тр. Нюрбинская (n = 723)							Майское тело (n = 71)						
	2-я популяция (n = 339/46.9 %)				3-я популяция (n = 42/5.8 %)			1-я популяция (n = 29/41 %)			2-я популяция (n = 41/58 %)			3-я попул. (n = 1/1 %)
	Крб (6)	Са-кмб (53)	Кмб (201)	Mg-кмб (79)	Са-кмб (10)	Кмб (18)	Mg-кмб (14)	Крб (7)	Са-кмб (15)	Кмб (7)	Крб (1)	Са-кмб (12)	Кмб (28)	Са-кмб (1)
SiO ₂	17.7	24.7	29.7	33.5	26.1	31.9	35.4	18.2	24.6	31.4	24.2	28.8	29.2	22.3
TiO ₂	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6
Al ₂ O ₃	4.5	4.1	3.9	3.7	4.7	4.9	4.7	3.8	4.1	3.2	6.5	4.7	3.5	5.4
ΣFe ₂ O ₃	4.8	5.1	6.0	7.0	6.8	7.5	8.4	2.8	2.8	5.6	3.4	5.0	6.6	6.6
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MgO	12.0	18.6	24.7	28.9	17.1	23.3	29.1	9.3	15.8	27.5	10.7	19.3	24.3	19.8
CaO	28.0	19.7	12.5	7.7	19.5	11.7	5.7	31.9	20.9	12.0	23.7	15.9	14.8	18.2
K ₂ O	0.8	1.2	1.0	0.9	1.6	1.7	1.1	1.4	1.7	0.7	2.9	2.1	0.5	0.7
P ₂ O ₅	0.6	0.5	0.5	0.4	1.5	1.1	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6	0.7
П.п.п.	31.0	25.7	21.2	17.0	21.6	17.2	14.1	31.3	29.1	19.0	27.2	22.9	20.2	25.2

Примечание. В скобках — количество анализов; полужирным шрифтом выделены модальные популяции.

странности петрохимических разновидностей в объеме тела дают кимберлиты, отобранные случайным образом по разрезам разведочных буровых скважин.

В Ботуобинской трубке преобладают (68 %) кимберлиты, относящиеся к 1-й наиболее низкотитанистой ($\text{TiO}_2 < 0.40$ %) популяции. Более чем в два раза им уступают кимберлиты 2-й популяции ($\text{TiO}_2 = 0.41\text{—}0.60$ %), кимберлиты 3-й ($\text{TiO}_2 = 0.61\text{—}1.00$ %) популяции составляют всего 7 % от всей исследованной коллекции. В Нюрбинской трубке кимберлиты 1-й и 2-й популяций присутствуют в равных количествах при том же, что и в Ботуобинской трубке, уровне распространенности кимберлитов 3-й популяции. В теле Майское кимберлиты 2-й популяции преобладают над кимберлитами 1-й популяции.

Модальными разновидностями (типохимический признак CaO/MgO , см. табл. 2) во всех рассматриваемых диаграмах являются собственно кимберлиты, при этом на долю кимберлитовых карбонатов и карбонатитовых кимберлитов в Ботуобинской трубке приходится от 11 до 25 % исследованных образцов, в Нюрбинской — 17—35 %, в Майском теле — 32—54 %. Следует также подчеркнуть, что среди кимберлитов Майского тела не обнаружены магнезиальные разновидности. Ряд Ботуобинская трубка—Нюрбинская трубка—Майское тело, таким образом, представляет собой тренд эволюционного развития кимберлитового магматизма Накынского поля, последовательные продукты которого обогащаются титаном и кальцием.

ИНДИКАТОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Особенности состава индикаторных минералов изучались на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax-Micro по методике, разработанной в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск [Лаврентьев и др., 1987]. Пределы обнаружения большинства элементов при рядовом анализе составляют порядка 0.03 % [Корюлюк и др., 2008]. Прецизионные измерения содержаний Na в гранатах [Sobolev, Lavrent'ev, 1971] и Ni в хромшпинелидах [Лаврентьев и др., 2005] повышают пределы обнаружения этих элементов до 0.01 и 0.005 % соответственно.

Кимберлиты Майского тела содержат гранаты и хромшпинелиды.

Гранаты в связующей массе кимберлитов Майского тела представлены малиновыми и оранжевыми кристаллами. Наиболее часто встречаются малиновые гранаты, состав которых соответствует пиропу. Пироп образует округлой формы зерна с неровной, кавернозной, матовой поверхностью. Их размеры колеблются от 0.25 до 5.0 мм, в большинстве случаев составляя 0.5—1.0 мм. Встречаются пиропы, покрытые келифитовой оболочкой, толщина которой в отдельных случаях достигает 1—2 мм.

Представительные анализы пиропов приведены в табл. 4. Всего составы пиропов были определены в 178 зернах из 37 образцов кимберлитов тела. На диаграмме $\text{CaO—Cr}_2\text{O}_3$ фигуративные точки составов гранатов тела Майское, как и гранатов других алмазоносных трубок Якутской провинции [Соболев, 1971, 1974; Sobolev et al., 1973; Соболев и др., 1978], попадают в поля всех известных ультраосновных парагенезисов, концентрируясь главным образом в лерцолитовом поле (рис. 4). Пиропы из кимберлитовых брекчий не обнаруживают отличий от пиропов порфировых кимберлитов (см. табл. 4). Своеобразной чертой рассматриваемой коллекции пиропов являются повышенные количества хрома, причем как абсолютные (содержания Cr_2O_3 в их составе достигают 14.5 %), так и относительные — разности, в которых $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 10$ % составляют не менее 30 % от объема выборки. По этим показателям кимберлиты Майского тела заметно отличаются от других кимберлитов Якутии, но весьма близки кимберлитам дайкового комплекса Снэп Лейк, Канада [Похиленко и др., 2000]. Обращает на себя внимание значительная доля пиропов алмазной ассоциации (~16 %) и их очень выдержанный с минимальными вариациями главных компонентов (см. рис. 4) состав.

Пиропы кимберлитов Майского тела по многим параметрам весьма близки пиропам кимберлитов расположенных рядом Нюрбинской и Ботуобинской трубок [Томшин и др., 1998]. Для получения количественных характеристик меры сходства—различия пиропов этих трех тел мы воспользовались расчетным методом, предложенным Доусоном и Стефенсом [Dawson, Stephens, 1975]. Суть проведенных расчетов сводилась к следующему. На первом этапе все анализы пиропов объединялись в одну выборку, для которой рассчитывался

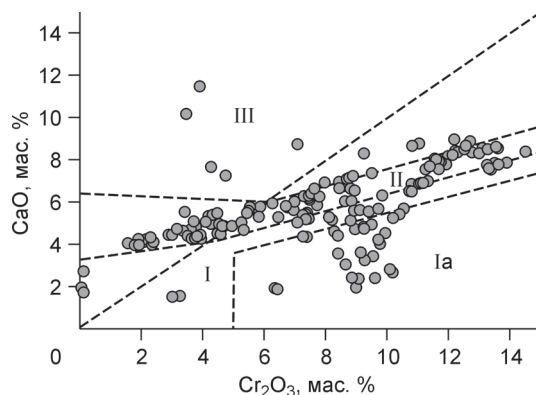


Рис. 4. Распределение содержаний Cr_2O_3 и CaO в пиропе из кимберлитов Майского тела.

I — поле гранатов гарцбургит-дунитового парагенезиса; Ia — потенциально алмазоносный парагенезис; II — поле гранатов лерцолитового парагенезиса; III — поле гранатов верлитового парагенезиса [Соболев, 1974].

Таблица 4. Представительные анализы малиновых гранатов из кимберлитов тела Майское (мас.%)

Компонент	Кимберлитовые брекчии								Порфиновые кимберлиты							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	42.3	42.2	41.7	40.7	41.7	41.7	40.7	40.4	42.0	41.8	41.2	41.9	40.7	40.7	40.5	40.4
TiO ₂	0.2	0.4	0.5	0.0	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.4	0.1	0.2	0.1
Al ₂ O ₃	22.0	20.3	18.6	16.2	16.5	16.4	14.3	12.4	21.6	20.3	17.5	16.8	15.8	14.7	13.7	13.0
Cr ₂ O ₃	1.7	3.7	5.3	8.9	9.2	9.6	11.7	13.9	2.2	4.3	7.4	9.1	9.3	10.8	12.1	13.3
FeO	8.8	6.8	7.6	7.9	6.8	6.8	7.2	7.1	9.6	7.9	7.9	7.1	7.2	7.1	6.9	7.0
MnO	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
MgO	20.5	20.7	20.3	17.9	21.4	22.0	17.5	17.1	19.8	20.2	19.0	22.3	17.5	17.1	17.2	16.9
CaO	4.1	5.1	5.1	7.2	3.6	2.4	8.0	7.9	4.3	5.0	6.3	2.4	8.3	8.6	8.3	8.5
Na ₂ O	0.05	0.09	0.08	<0.03	0.13	<0.03	0.03	0.07	0.05	0.06	0.05	<0.03	0.04	<0.03	<0.03	0.03
Сумма	100.0	99.7	99.7	99.3	100.0	99.4	100.0	99.5	100.1	100.1	100.1	100.1	99.6	99.7	99.3	99.7
ALM	16.0	11.8	12.6	14.1	11.9	12.5	12.9	12.8	17.6	14.4	14.1	12.6	12.9	12.4	12.2	12.6
SPE	0.9	0.7	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.1	1.1	0.9	1.0
AND	2.4	2.8	4.1	3.3	2.9	2.0	3.1	3.4	2.4	1.9	2.9	2.7	3.0	3.6	3.5	3.1
TiAND	0.5	1.1	1.4	0.1	0.5	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.1	1.0	0.2	0.5	0.4
UVA	4.8	9.6	8.0	15.7	6.7	4.4	18.1	18.1	6.1	10.8	13.2	3.5	18.1	19.3	18.5	19.6
KNO	0.0	0.9	7.0	10.3	19.5	23.3	16.1	23.2	0.0	1.4	8.1	22.4	9.1	12.4	17.3	19.6
GRO	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PYR	72.6	73.1	66.0	55.5	57.8	57.0	48.7	41.3	70.3	70.3	60.4	57.8	54.9	51.1	47.2	43.7
f, %	18.1	13.7	14.7	17.7	13.3	13.5	16.6	16.6	20.0	16.7	17.1	13.6	16.7	16.4	15.9	16.6

Примечание. ALM — альмандин, SPE — спессартин, AND — андрадит, TiAND — Ti-андрадит, UVA — уваровит, KNO — кноррингит, GRO — гроссуляр, PYR — пироп, $f = \text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$.

средний состав. Затем каждый анализ нормировался на этот средний состав, после чего полученная матрица кластеризовалась (K-метод кластерного анализа, программный пакет Statistica). Средние составы выделившихся квазиоднородных групп приведены в табл. 5. На следующем этапе для каждого кимберлитового тела формировались выборки пиропов, попавших в 1, 2 и 3-ю кластерные группы соответственно, и вычислялся их средний состав (табл. 6). Пиропы 2-й и 3-й кластерных групп обнаружили практически одинаковый состав во всех трех кимберлитовых телах. Пиропы 1-й наиболее хромистой кластерной группы, напротив, образуют достаточно широко варьирующий ряд, в котором от тр. Ботуобинская к тр. Нюрбинская и далее к Майскому телу в гранатах нарастают содержания Cr₂O₃, MgO и падают FeO.

Оранжевые гранаты встречаются в кимберлитах Майского тела в несколько меньших количествах, нежели малиновые. Так, по результатам количественных подсчетов оранжевые гранаты уступают малиновым в 1.2—1.5 раза. Различия фиксируются и в гранулометрии — оранжевые гранаты не образуют кристаллов более 3.0 мм в поперечнике. В редких случаях на оранжевых гранатах фиксируются келифитовые каймы.

По соотношению железа и магния оранжевые гранаты распадаются на две дискретные группы — магниезильную и железистую (рис. 5). Гранаты, попавшие в магниезильную группу, в большинстве своем обладают более яркой окраской, нежели железистые гранаты. В их спектрах превалируют красновато-коричневые оттенки. Они образуют достаточно компактную в признаковом пространстве группу (табл. 7) и по составу практически идентичны магниезильным гранатам эклогитов трубок Мир, Удачная, Обнаженная [Соболев, 1974]. Для железистых разновидностей характерно плавное увеличение доли альмандиновой компоненты при практически постоянном содержании гроссуляровой молекулы (табл. 7). Постоянное присутствие кальциевой компоненты в гранатах, как известно, является неприменной особенностью пироп-альмандинов эклогитов и эклогитоподобных пород. На диаграмме Mg—Fe—Ca в поле гранатов алмазонасных эклогитов попали все магниезильные оранжевые гранаты Майского тела и около 30 % (40 из

Таблица 5. Средние содержания (мас.%) главных компонентов пиропов в кластерных группах

Кластер	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO
1	41.0	16.4	9.6	18.6	6.3	7.4
2	41.7	19.8	5.4	20.1	4.9	7.7
3	42.0	22.3	2.3	19.9	4.4	8.8

Таблица 6.

**Средние составы (мас.%) пиропов кимберлитов Майского тела,
Нюрбинской и Ботуобинской трубок, ранжированные по кластерным группам**

Тело, трубка	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	FeO
Кластер 1						
Майское (n = 98)	41.0	15.4	10.3	18.8	6.5	7.2
Нюрбинская (n = 125)	41.1	17.3	9.4	18.7	6.2	7.4
Ботуобинская (n = 52)	40.7	16.3	8.9	18.3	6.4	7.7
Кластер 2						
Майское (n = 53)	41.7	19.1	5.3	20.0	5.3	7.6
Нюрбинская (n = 217)	41.8	20.3	5.4	20.2	4.8	7.6
Ботуобинская (n = 84)	41.5	19.1	5.3	19.9	4.9	7.8
Кластер 3						
Майское (n = 27)	42.2	21.4	2.6	20.9	4.2	8.2
Нюрбинская (n = 241)	42.1	22.6	2.3	19.9	4.5	8.7
Ботуобинская (n = 57)	41.8	21.6	2.1	20.2	4.2	8.6

Таблица 7. Представительные анализы (мас.%) оранжевых гранатов из кимберлитов тела Майское

Компонент	Магнезиальные					Железистые										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	42.8	42.2	41.8	41.7	41.2	40.9	40.5	40.7	40.5	40.0	39.8	39.7	38.9	38.9	38.4	38.3
TiO ₂	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
Al ₂ O ₃	22.8	22.7	22.3	22.1	22.2	22.0	22.0	21.8	21.6	21.4	21.5	21.5	21.3	21.3	20.9	21.0
Cr ₂ O ₃	0.3	0.3	0.5	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
FeO	8.2	8.6	9.3	11.2	12.2	16.7	17.6	18.4	18.4	20.7	22.7	23.5	25.1	26.1	27.2	28.6
MnO	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.8	0.7	0.7	0.6
MgO	21.4	19.9	19.0	19.1	18.2	13.1	11.8	11.2	9.5	8.9	8.7	7.8	7.6	7.2	6.0	6.0
CaO	3.7	5.4	5.7	3.9	4.4	6.9	7.7	7.6	9.6	8.8	7.3	7.8	6.8	6.4	7.2	6.2
Na ₂ O	0.05	0.07	0.04	0.07	0.13	0.1	0.09	0.16	0.15	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Сумма	99.6	99.6	99.1	99.2	99.4	100.3	100.3	100.4	100.5	100.2	100.4	100.6	100.5	100.8	100.4	100.7
ALM	14.0	15.1	16.4	20.4	22.3	32.2	34.7	36.2	36.7	41.3	46.2	48.0	51.1	53.7	55.8	59.1
SPE	0.5	0.4	0.5	0.6	0.9	0.7	0.8	0.8	0.7	1.1	0.8	0.6	1.6	1.4	1.5	1.2
AND	3.5	2.9	3.5	3.3	3.3	3.4	2.9	3.6	3.2	4.1	3.4	3.4	3.1	2.7	3.8	2.9
TiAND	0.5	0.5	0.5	1.1	1.4	0.5	0.6	0.6	1.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
UVA	0.7	1.0	1.4	1.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2
GRO	4.9	9.7	9.5	4.8	6.9	14.7	17.3	16.8	22.2	19.7	16.3	18.1	15.1	14.6	16.0	13.5
PYR	75.9	70.4	68.3	68.7	65.0	48.4	43.7	41.9	35.9	33.6	33.0	29.8	28.7	27.3	22.7	22.8
f, %	15.6	17.7	19.4	22.9	25.5	40.0	44.2	46.4	50.5	55.1	58.3	61.7	64.1	66.3	71.1	72.2

137) железистых разностей (рис. 6). Остальные расположились на продолжении тренда в области более железистых составов.

В кимберлитах Ботуобинской и Нюрбинской трубок железистые оранжевые гранаты встречаются в таких же количествах и характеризуются сходными с гранатами кимберлитов Майского тела морфологическими и гранулометрическими особенностями. Что же касается состава, то оранжевые гранаты Майского тела оказались более кальциевыми и содержат меньше магния в сравнении с оранжевыми гранатами Ботуобинской трубки (табл. 8, рис. 7). Таким образом, диаграммы Накынского поля по составам гранатов располагаются в следующем порядке: тр. Ботуобинская, тр. Нюрбинская, Майское тело. В пиробах в этой последовательности увеличиваются содержания хрома в оранжевых гранатах кальция.

Рис. 5. Полигоны распределения величин параметра $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ в оранжевых гранатах кимберлитов Майского тела.

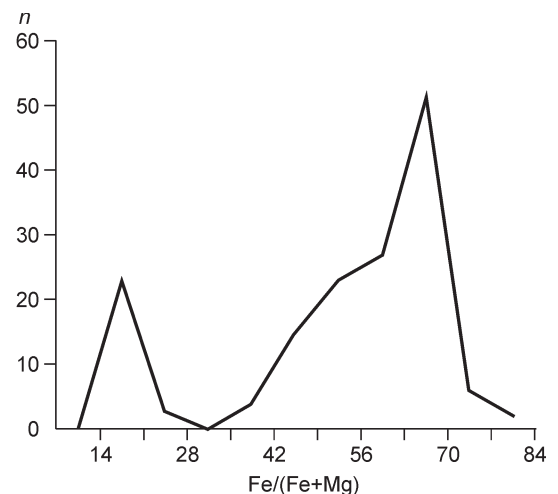


Таблица 8. Средние составы (мас.%) оранжевых гранатов из кимберлитов Майского тела (1) и Ботубинской трубки (2)

Место отбора проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O
1 (n = 128)	39.5	0.1	21.3	0.1	23.8	0.6	8.7	6.4	0.0
2 (n = 97)	39.8	0.2	21.7	0.1	21.5	0.4	11.6	4.7	0.1

Таблица 9. Представительные анализы (мас.%) хромшпинелидов из кимберлитов тела Майское

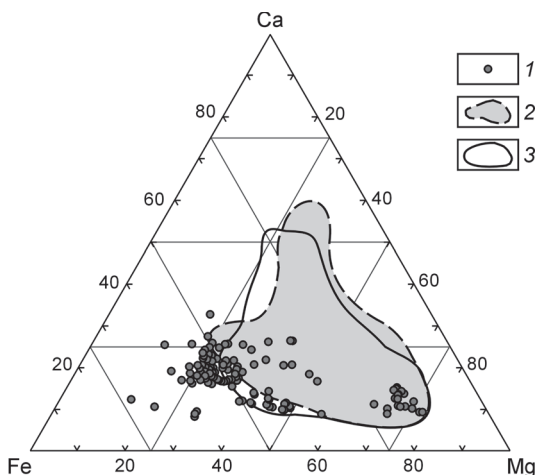
Компонент	Округлые кристаллы со следами магматической коррозии										Октаэдры					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
TiO ₂	0.1	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	1.0	1.5	2.4	3.2	0.3	0.4	1.1	1.4	1.6	2.0
Al ₂ O ₃	27.2	6.2	22.2	38.5	5.4	17.8	6.2	11.6	6.0	4.1	6.7	6.1	14.1	32.7	6.2	6.3
Cr ₂ O ₃	42.1	64.7	45.3	27.6	65.7	44.8	62.5	52.4	57.4	57.1	63.7	63.4	50.8	30.4	59.9	61.1
FeO	14.3	16.3	22.3	16.6	15.9	24.6	18.7	23.1	22.8	24.4	15.9	17.8	21.1	20.9	20.3	19.0
MnO	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
MgO	15.4	11.9	10.2	16.7	11.3	11.6	11.3	10.6	10.6	9.9	12.6	11.0	11.6	15.1	11.0	11.2
NiO	0.1	0.08	0.08	0.23	0.08	0.15	0.07	0.12	0.15	0.13	0.09	0.08	0.17	0.25	0.12	0.1
Сумма	99.3	99.7	100.6	100.2	99.2	100.1	100.0	99.6	99.7	99.1	99.4	99.0	99.0	100.8	99.3	99.9
Fe ²⁺ /(Fe ²⁺ + Mg)	31.3	41.2	52.9	30.2	43.7	46.0	45.2	49.5	49.4	52.9	37.7	44.8	45.1	36.3	46.5	46.9
Cr/(Cr + Al)	51.0	87.6	57.8	32.5	89.1	62.8	87.1	75.2	86.6	90.2	86.4	87.4	70.7	38.4	86.7	86.7

Хромшпинелиды в количестве от 30 до 130 г/т присутствуют во всех разновидностях пород Майского тела. Морфология их кристаллов изменяется в широких пределах, но в генерализованном виде выделяются два основных типа: первый — октаэдры с идеально гладкими блестящими гранями, вершины и ребра которых иногда притуплены множеством мелких граней; второй — округлые, без четких граней кристаллы. Размеры кристаллов первого типа варьируют от 0.1 до 1.5 мм, в большинстве случаев составляя 0.1—0.4 мм. Размеры кристаллов второго типа попадают в интервал 0.1—2.0 мм с максимумом в классе 0.2—0.6 мм. Еще одной отличительной особенностью кристаллов второго типа являются в той или иной степени проявленные следы магматической коррозии.

В процессе дробления исходного кимберлита октаэдры и корродированные кристаллы хромита довольно редко сохраняют свою форму, поэтому из каждого образца отбирались для анализа несколько (иногда до двух десятков) зерен минерала, чтобы охватить весь возможный морфологический ряд. Всего было проанализировано 256 зерен. Оказалось, что кристаллы различного габитуса не обнаруживают существенных отличий в концентрациях главных компонентов (табл. 9).

Наиболее вариабельными признаками в составе хромшпинелидов Майского тела являются содержания хрома, алюминия и титана. На графиках Cr₂O₃—Al₂O₃ и Cr₂O₃—TiO₂ фигуративные точки их составов располагаются в виде характерных для кимберлитов большинства трубок Якутии [Соболев, 1971, 1974; Соболев и др., 1975] двулучевых облаков (рис. 8). Отличительной особенностью коллекции хромшпинелидов Майского тела следует считать высокую долю (37.5 %) разностей алмазного парагенезиса.

Для сравнительного анализа хромшпинелидов Майского тела и других трубок Накынского поля мы объединили все имеющиеся анализы и подвергли их кластеризации по алгоритму, описанному выше для пиропов. Как и в случае с пиропами, вся коллекция распалась на три квазиоднородные группы:



хромшпинелиды с повышенными концентрациями титана, высокохромистые хромшпинелиды и глиноземистые хромшпинелиды (табл. 10). В каждой из кластерных групп мы рассчитали средние составы минералов сравниваемых трубок (табл. 11). К сожалению, картина получилась неполной, поскольку по тр. Нюрбинская мы располагаем весьма ограниченным числом полных анализов хромшпинелидов. Тем не менее некоторые эволюционные тенденции проявляются достаточно отчетливо. Так, в группах титанистых и высокохромистых шпинелидов от тр. Ботубин-

Рис. 6. Составы оранжевых гранатов кимберлитов:

Майского тела (1), контуры поля составов гранатов алмазоносных эклогитов трубок Удачная (2) [Соболев и др., 1998] и Нюрбинская (3) [Spetsius et al., 2008].

Таблица 10. Средние содержания (мас.%) главных компонентов хромшпинелидов в кластерных группах

Кластер	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO
1	2.2	6.9	56.9	22.1	10.8
2	0.4	7.2	61.9	18.5	11.0
3	0.6	22.2	44.4	18.9	13.3

Таблица 11. Средние составы (мас.%) хромшпинелидов кимберлитов Майского тела, Нюрбинской и Ботубинской трубок, ранжированные по кластерным группам

Тело, трубка	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO
Кластер 1					
Майское (n = 55)	2.2	7.2	56.7	22.3	10.5
Ботубинская (n = 20)	2.4	6.2	57.0	21.8	11.2
Кластер 2					
Майское (n = 133)	0.5	7.2	61.9	18.7	11.0
Ботубинская (n = 84)	0.4	6.4	62.9	18.1	11.0
Кластер 3					
Майское (n = 68)	0.6	23.3	42.6	19.4	13.5
Нюрбинская (n = 48)	0.5	19.6	48.0	19.0	12.6
Ботубинская (n = 34)	0.5	23.9	43.0	17.8	13.7

ская к Майскому телу в минералах снижаются концентрации хрома и повышается уровень глиноземистости (см. табл. 11). По составам хромшпинелидов, как и по составам гранатов, диатремы Накынского поля образуют ту же последовательность: тр. Ботубинская, тр. Нюрбинская, Майское тело. Следует подчеркнуть, что результаты ранжирования диатрем по минералогическим признакам совпадают с результатами петрохимического ранжирования.

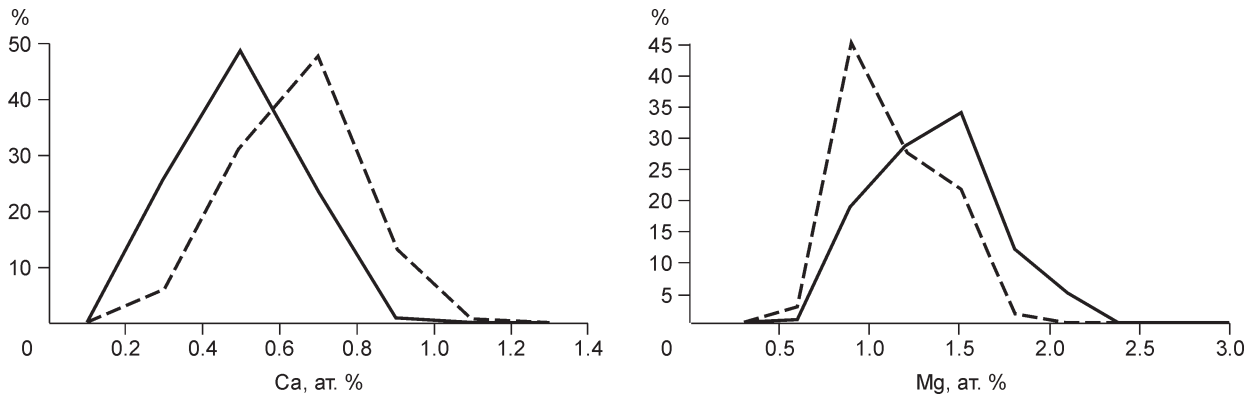


Рис. 7. Полигоны распределения содержаний кальция и магния в оранжевых гранатах кимберлитов Майского тела (штриховая линия) и Ботубинской трубки (сплошная линия).

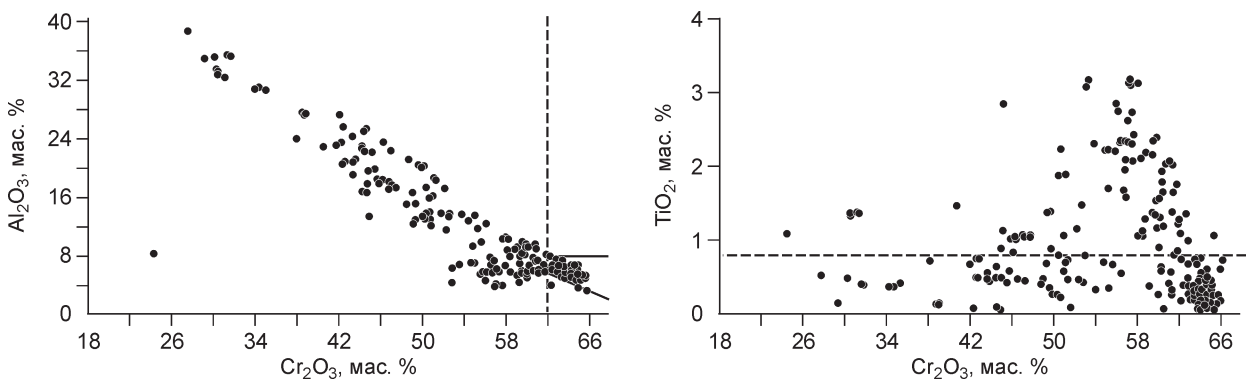


Рис. 8. Распределение содержаний Cr₂O₃, TiO₂ и Al₂O₃ в хромшпинелидах кимберлитов Майского тела.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Детальные петрохимические исследования кимберлитов Якутской провинции [Милашев, 1964; Василенко и др., 1997; Vasilenko et al., 2002] выявили статистическую зависимость между содержаниями TiO_2 в породе и концентрациями в ней алмаза. В данном контексте низкие, на уровне первой—второй популяции (см. табл. 2, 3) содержания TiO_2 в кимберлитах Майского тела позволяют уверенно оценивать их алмазный потенциал как высокий.

Характерными особенностями пиропов высокопродуктивных кимберлитов являются повышенные количества гранатов, содержащих более 10 мас.% Cr_2O_3 , и гранатов алмазной ассоциации [Sobolev et al., 1993]. По этим параметрам пиропы Майского тела весьма близки пиропам тр. Айхал [Соболев и др., 1978], что также свидетельствует о принадлежности тела к высокопродуктивным образованиям.

Принципиально важной для петрологических и прогнозно-поисковых построений особенностью Якутской алмазоносной провинции является зональная структура кимберлитовых полей, выражающаяся в последовательном увеличении содержаний титана в трубках от центра к периферии в изометричных полях и от одного края к другому в линейно вытянутых [Vasilenko, Zinchuk, 2003]. Эволюционный ряд в каждом конкретном поле может начинаться как с трубок, модальными для которых являются низкотитанистые кимберлиты 1-й и 2-й популяций (Мирнинское, Алакит-Мархинское поля), так и с трубок более высокого титанового ранга — Далдынского поле (3-я популяция), Верхнемунское (3-я и 4-я популяции). Конечными же членами ряда во всех без исключения полях являются трубки, сложенные максимально титанистыми кимберлитами 6-й и 7-й популяций. В Накынском поле тренд изменения химических составов кимберлитов с учетом Майского тела охватывает 1, 2 и частично 3-ю популяции. Следовательно, со значительной долей уверенности можно утверждать, что кимберлиты тела Майское не представляют собой заключительное звено эволюционного развития кимберлитового магматизма, и прогнозировать наличие в данном районе кимберлитовых трубок, сложенных 3, 4 и 5-й популяциями, в общих чертах схожих с трубками Удачная и Мир.

Последовательность Ботуобинская трубка—Нюрбинская трубка—Майское тело, установленная по особенностям химического состава слагающих эти тела кимберлитов, повторилась при сравнительном анализе составов акцессорных гранатов и хромшпинелидов, что, несомненно, является следствием тесной сопряженности минералов и породы. Не обсуждая природы подобного явления, подчеркнем, что присутствие (совместно или порознь) малиновых и оранжевых гранатов в ореолах рассеяния следует считать важным поисковым признаком.

ВЫВОДЫ

Кимберлитовое тело Майское сложено низкотитанистыми, карбонатно-магнезиальными кимберлитами. Оранжевые гранаты распадаются на две дискретные группы — магнезиальную и железистую. На диаграмме $Mg-Fe-Ca$ в поле гранатов алмазоносных эклогитов попали все магнезиальные оранжевые гранаты Майского тела и около 30 % (40 из 137) железистых разновидностей. Пиропы Майского тела характеризуются высокими содержаниями хрома (до 14.5 мас.% Cr_2O_3) и значительной долей (~16 %) в их составе разновидностей с низкими концентрациями кальция. Повышенные содержания Cr_2O_3 (37.5 % выборки сложены хромитами алмазной ассоциации) устанавливаются и в хромшпинелидах Майского тела. Подобное сочетание составов кимберлитов и составов индикаторных минералов, с одной стороны, говорит о высоком алмазном потенциале тела Майское, с другой, о том, что оно не является заключительным звеном эволюционного развития кимберлитового магматизма Накынского поля, что значительно расширяет поисково-разведочные перспективы.

Авторы благодарят академика Н.В. Соболева за ознакомление с работой и сделанные им ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

Афонин В.П., Гуничева Т.Н., Пискунова Л.Ф. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ. Новосибирск, Наука, 1984, 215 с.

Богатиков О.А., Кононова В.А., Голубева Ю.Ю., Зинчук Н.Н., Илупин И.П., Ротман А.Я., Левский Л.К., Овчинникова Г.В., Кондрашов И.А. Петрогеохимические и изотопные вариации состава кимберлитов Якутии и их причины // *Геохимия*, 2004, № 9, с. 915—939.

Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии. Новосибирск, Наука, 1997, 574 с. <http://www.uiggm.nsc.ru/load/load.html>

Кононова В.А., Голубева Ю.Ю., Богатиков О.А., Носова А.А., Левский Л.К., Овчинникова Г.В. Геохимическая (ICP-MS геохимия, изотопия Sr, Nd, Pb) гетерогенность кимберлитов Якутии: вопросы генезиса и алмазоносность // *Петрология*, 2005, т. 13, № 3, с. 227—252.

Королюк В.Н., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Нигматулина Е.Н. О точности электронно-зондового анализа породообразующих минералов на микроанализаторе JXA-8100 // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (3), с. 221—225.

Кузнецова Л.Г., Василенко В.Б., Зинчук Н.Н. Петрохимическая популяционная модель кимберлитов // Прогнозирование и поиски коренных и россыпных алмазных месторождений (Материалы 2-й Международной конференции. Симферополь—Ялта, сентябрь, 2006 г.). Киев, УкрГГРИ, 2006, с. 81—87.

Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Кузнецова А.И., Летов С.В. Рентгеноспектральный квантометрический микроанализ важнейших минералов кимберлитов // Геология и геофизика, 1987 (5), с. 75—81.

Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В., Королюк В.Н., Логвинова А.М. Электронно-зондовое определение примесей цинка и никеля в хромшпинелидах для целей геотермометрии перидотитов // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (7), с. 741—745.

Милашев В.А. Петрохимическая характеристика кимберлитовых пород (на примере пород Анабаро-Оленекского района) // Геология и геофизика, 1964 (3), с. 138—142.

Пархоменко В.С. Анализ элементного состава стандартных образцов геологических проб на основе высокоразрешающей полупроводниковой гамма-спектрометрии // Спектрометрические методы анализа в геохимии. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1980, с. 18—30.

Похиленко Н.П., Соболев Н.В., Черный С.Д., Митюхин С.И., Яныгин Ю.Т. Пиропы и хромиты из кимберлитов Накынского поля (Якутия) и района Снэп-Лейк (провинция Слейв, Канада): свидетельства аномального строения литосферы // Докл. РАН, 2000, т. 372, № 3, с. 356—360.

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, 263 с.

Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Особенности состава хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии // Геология и геофизика, 1975 (11), с. 7—24.

Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Роль хрома в гранатах // Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. Новосибирск, Наука, 1978, с. 145—168.

Соболев Н.В., Тейлор Л.А., Зуев В.М., Безбородов С.М., Снайдер Г.А., Соболев В.Н., Ефимова Э.С. Особенности эволюционного парагенезиса алмазов кимберлитовых трубок Мир и Удачная (Якутия) // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (12), с. 1667—1678.

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

Толстов А.В., Невлютов Т.Н. Дайковый комплекс Накынского кимберлитового поля // Труды VII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 2. М., Университет «Книжный дом», 2005а, с. 188.

Толстов А.В., Пономарев О.Б. Некоторые особенности минералогии россыпей Накынского кимберлитового поля в связи с прогнозированием коренных источников алмазов // Там же, 2005б, с. 232.

Толстов А.В., Сыромолотова Н.А., Боланев В.С., Фомин А.С. Новое о морфологии кимберлитовой трубки Ботуобинская // Труды Всероссийского совещания к 100-летию академика Ю.А. Кузнецова. Новосибирск, 2003а, с. 332—333.

Толстов А.В., Сыромолотова Н.А., Боланев В.С. Перспективы Среднемархинского алмазоносного района в связи с новыми данными по морфологии кимберлитовой трубки Ботуобинская // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики (Материалы Всероссийского совещания, посвященного 90-летию академика Н.А. Шило, Магадан, 3—6 июня). Магадан, Изд-во СВКНИИ ДВО РАН, 2003б, с. 210—213.

Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т. Особенности магматических образований Накынского кимберлитового поля Якутской провинции // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (12), с. 1693—1703.

Agashev A.M., Watanabe T., Budaev D.A., Pokhilenko N.P., Fomin A.S., Maehara K., Maeda J. Geochemistry of kimberlites from Nakyn field, Siberia: evidence for unique source composition // Geology, 2001, v. 29, № 3, p. 267—270.

Dawson J.B., Stephens W.E. Statistical analysis of garnets from kimberlites and their xenoliths // J. Geol., 1975, v. 83, p. 589—607.

Fraser K.J., Hawkesworth C.J. The petrogenesis of group 2 ultrapotassic kimberlites from Finsch Mine, South Africa // Lithos, 1992, v. 28, № 36, p. 327—345.

Le Roex A.P., Bell D.R., Davis P. Petrogenesis of group I kimberlites from Kimberly, South Africa: evidence from bulk-rock geochemistry // J. Petrol., 2003, v. 44, № 12, p. 2261—2286.

- Mitchell R.H.** Kimberlites, orangeites, and related rocks. New York, London, Plenum Press, 1995, 410 p.
- Pokhilenko N.P., Agashev A.M., McDonald J.A., Sobolev N.V., Mityukhin S.I., Vavilov M.A., Yanygin Y.T.** Kimberlites of the Nakyn field, Siberia, and the Snap Lake/King Lake dyke system, Slave Craton, Canada: a new variety of kimberlite with proposed ultradeep origin. Victoria, Nat. Resour. Canad., 2003, p. 114—115.
- Smith C.B., Gurney J.J., Skinner E.M.W., Clement C.R., Ebrahim N.** Geochemical character of Southern African kimberlites. A new approach based on isotopic constraints // Trans. Geol. Soc. S. Afr., 1985, v. 88, № 2, p. 267—280.
- Sobolev N.V., Lavrent'ev Yu.G.** Isomorphous sodium admixture in garnets formed at high pressures // Contr. Miner. Petrol., 1971, v. 31, p. 1—12.
- Sobolev N.V., Lavrent'ev Yu.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V.** Chrome-rich garnet from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contr. Miner. Petrol., 1973, v. 40, p. 39—52.
- Sobolev N.V., Pokhilenko N.P., Afanasiev V.P.** Kimberlitic pyrope and chromite morphology and chemistry, as indicators of diamond grade in Yakutian and Arkhangelsk provinces // Mid-Continent Diamonds, GAC-MAC Sympos., 1993, p. 63—69.
- Spetsius Z.V., Taylor L.A., Valley J.W., Deangelis M.T., Spicuzza M., Ivanov A.S., Banzeruk V.I.** Diamondiferous xenoliths from crustal subduction: garnet oxygen isotopes from the Nyurbinskaya pipe, Yakutia // Eur. J. Miner., 2008, v. 20, p. 375—385.
- Taylor W.R., Tompkins L.A., Haggerty S.E.** Comparative geochemistry of West African kimberlites: evidence for a micaceous kimberlite end member of sublithospheric origin // Geochim. Cosmochim. Acta., 1994, v. 58, № 19, p. 4017—4037.
- Vasilenko V.B., Zinchuk N.N.** Mantle plumes as determining factor of vertical migration of magma generation zones, fixed the bulk kimberlite composition // Plumes and problems of deep sources of alkaline magmatism. Proceedings of the International Conference / Khabarovsk, Publishing House of the Irkutsk State Technical University, 2003, p. 96—114.
- Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O., Kuznetsova L.G., Khlestov V.V., Volkova N.I.** Diamond potential estimation based on kimberlite major element chemistry // J. Geochem. Explor., 2002, v. 76, № 2, p. 93—112.

*Рекомендована к печати 24 сентября 2008 г.
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию
23 июня 2008 г.*