

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.323.6:303.2+553.251.81(571.56-15)

ОСОБЕННОСТИ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ КИМБЕРЛИТОВ
НОВОЙ ТРУБКИ ЯНВАРСКАЯ (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Д.В. ИВАНОВ, В.В. ИВАНОВ, А.В. ТОЛСТОВ

*Акционерная компания АЛРОСА (ПАО)
678175, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 6; e-mail: tolstovav@alrosa.ru*

Приведены первые результаты минералого-петрографических исследований микрообломков кимберлитов из базального горизонта верхнепалеозойских отложений Алаakit-Мархинского кимберлитового поля (Западная Якутия). Выявлены главные особенности индикаторных минералов кимберлитов (ИМК): пикроилменита, пиропы, хромшпинелидов, флогопита, хромдиопсида и оливина. Намечены пути их дальнейшего изучения в связи с поисками кимберлитовых тел. Открытие трубки Январская подтвердило правильность методики опробования базальных горизонтов верхнепалеозойских отложений по керну скважин. В составе кимберлитов новой трубки обнаружены минералы, содержащие редкоземельные элементы (РЗЭ), что требует проведения дальнейших исследований. Результаты изучения ИМК трубки Январская пополняют базу данных по Алаakit-Мархинскому полю и позволяют надежнее прогнозировать и выявлять новые объекты, в том числе высокоалмазные.

Ключевые слова: кимберлиты; трубки; Алаakit-Мархинское поле; Западная Якутия.

THE FEATURES OF THE INDICATOR MINERALS OF KIMBERLITES
IN A NEW PIPE YANVARSKAJA (WESTERN YAKUTIA)

D.V. IVANOV, V.V. IVANOV, A.V. TOLSTOV

*ALROSA Public Joint Stock Company
678175, Russia, Yakutia, Mirny, Lenina str., 6; e-mail: tolstovav@alrosa.ru*

The first results of the mineral-petrographic studies of microclastes of kimberlites from the basal horizon of the Upper Paleozoic deposits of the Alakit-Markhinsky kimberlite field (Western Yakutia) have been presented. The main features of the indicator minerals of kimberlites (IMK) have been revealed. These minerals are picroilmenite, pyrope, chromspinel, phlogopite, chromdiopside and olivine. The ways of their further studying in connection with the search for kimberlite bodies have been outlined. The opening of the Yanvarskaja pipe has confirmed the correctness of the methodology for testing the basal horizons of the Upper Paleozoic deposits on the core of the wells. Minerals containing rare-earth elements (REE) have been found in the kimberlites of the new tube, which requires further research. The results of the study of the IMK of Yanvarskaja pipe serve as a supplement to the database on the Alakit-Markhinsky field and allow more reliable prediction and identification of new objects, including high-diamond ones.

Keywords: kimberlites; pipes; Alakit-Markhinsky field; Western Yakutia.

Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (Западная Якутия) занимает западную часть Далдыно-Алакитского района Якутской алмазоносной провинции. Поле характеризуется наличием промышленных объектов (месторождения алмазов Айхал, Юбилейная, Комсомольская) и обилием слабо- и убогоалмазоносных кимберлитовых тел [1, 3, 13, 15]. В январе 2016 г. при поисковых работах, выполняемых Амакинской экспедицией АК АЛРОСА (ПАО) в восточной части Алакит-Мархинского поля на участке Перевальный-север было выявлено новое кимберлитовое тело Январское, сложенное преимущественно порфировыми кимберлитами. Из индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) зафиксированы пикроильменит, пирроп, хромшпинелид, флогопит, хромдиопсид и оливин. Первые результаты по изучению минералогии и петрографии нового кимберлитового тела были получены по микрообломкам из шлиховых проб, отобранных из керна колонковых скважин, вскрывших базальный горизонт верхнепалеозойских отложений. Ниже приведены первые результаты минералогических и петрографических исследований, изучения главных типоморфных особенностей индикаторных минералов кимберлитов трубки Январская и обозначены направления дальнейшего изучения при решении поисковых задач.

Вещественный состав кимберлитов

После открытия нового кимберлитового тела был оперативно изучен вещественный состав порфировых кимберлитов по 25 обломкам, выявленным в трёх пробах (№ 6, 7, 8), отобранных их керна первой скважины 5071/4. Точная (инструментальная) диагностика микрообломков проведена в режиме СЭМ в Центральной аналитической лаборатории (ЦАЛ) АК АЛРОСА (ПАО) на микроанализаторе JXA-8800R (Jeol) с использованием энергодисперсионной приставки Link (Oxford).

Проба № 6 (глубина 117,0 м). Изучено 20 обломков гранулометрического класса -2+1 мм. Обломки визуально однотипные, грязно-серовато-зелёного цвета, угловатой формы (рис. 1). По минеральному составу обломки практически идентичны. Строение преобладающего большинства из них мелкопорфировое, единичные обломки представляют собой отдельные сравнительно крупные псевдоморфозы серпентин-кальцитового состава по оливину. В псевдоморфозах по оливину в обломках развит серпентин двух разновидностей: более магнезиальный в центральной части и более железистый по периферии. Средние соотношения основных породообразующих оксидов в них следующие (в мас. %): серпентин центральной части псевдоморфоз: SiO_2 42,9, MgO 39,5, FeO 2,3, Al_2O_3 0,6, серпентин краевой части псевдоморфоз: SiO_2 42,2, MgO 38,5, FeO 4,9, Al_2O_3 0,9. Кальцит в со-



Рис. 1. Фото обломков кимберлитов Январского тела (проба № 6, глубина 117,0 м)

ставе псевдоморфоз по оливину отмечен в переменных количествах, также нередки кальцитовые каймы вокруг псевдоморфоз. Вокруг некоторых псевдоморфоз наблюдаются тонкие плёнки магнетита. В составе единичных псевдоморфоз присутствует также (в мас. %) высокомагнезиальный (MgO 22,8) флогопит с повышенными содержаниями TiO_2 (2,4) и Cr_2O_3 (0,9). В псевдоморфозах диагностированы хромит, рутил, пикроильменит, магнетит, в одном случае — пентландит. Включения расположены, как правило, в краевых частях.

Хромит, присутствующий во включениях в псевдоморфозах по оливину, представлен идиоморфными зёрнами, состав которых (мас. %): Cr_2O_3 40,9—46,2, FeO 27,2—35,4, MgO 8,7—10,5, Al_2O_3 3,9—6,1, TiO_2 4,7—5,3.

Пикроильменит включений высокомагнезиальный (мас. %) MgO 11,5—13,5 с высоким содержанием примеси хрома (Cr_2O_3 2,9—4,7 мас. %). В отдельных микрообломках установлены также порфировые выделения шиповидного пикроильменита размером 0,15—0,3 мм в оторочке из рутила. Вариации содержаний основных породообразующих оксидов в пикроильмените (мас. %): TiO_2 48,6—53,8, FeO 28,6—34,7, MgO 10,9—13,2, Cr_2O_3 0,9—4,4. Краевые части пикроильменита характеризуются более высоким содержанием MgO (11,9—14,4) и Cr_2O_3 (2,1—4,4). Нередко по периферии зёрен пикроильменита развиты реакционные шпинелиды — хромит и хромсодержащий титаномагнетит.

Серпентин основной массы менее магнезиальный, в сравнении с серпентином псевдоморфоз по оливину, и в нём отмечено повышенное содержание примеси глинозема. Усредненный состав серпентина основной массы следующий (мас. %): SiO_2 41,2, MgO 35,7, FeO 4,9, Al_2O_3 1,4. Серпентин в той или иной степени хлоритизирован, с образованием Mg-Fe хлорита, в котором содержание FeO варьирует в пределах 11,9—12,9.

Флогопит во включениях высокомагнезиальный (мас. %): MgO 20,9—27,9, нередко частично

хлоритизирован или кальцитизирован, характеризуется повышенными содержаниями TiO_2 (0,4—2,7) и/или Cr_2O_3 (0,4—1,2). В краевых частях установлено повышенное содержание BaO (1,1—7,1). Основная масса — серпентин-кальцитовый агрегат (в различных соотношениях), где кальцит нередко образует зёрна удлинённой формы.

Флогопит основной массы высокомагнезиальный, ему свойственны повышенные содержания (мас. %): TiO_2 (1,7—3,5) и/или Cr_2O_3 (0,5—1,5), в краевых частях — BaO (1,2—13,6). В хлоритизированных разностях содержание FeO составляет 9,3—13,9. Оксиды в основной массе представлены пикроильменитом, хромитом, титаномагнетитом и рутилом.

Пикроильменит основной массы, представлен преимущественно высокомагнезиальными разностями (мас. %): MgO 11,1—14,1 с повышенными и высокими содержаниями примеси Cr_2O_3 (0,7—4,7). Единичные зёрна характеризуются умеренным (9,8—10,9) и низким (6,1) содержанием MgO и высокими содержаниями Cr_2O_3 (1,9—2,3).

Хромит основной массы представлен идиоморфными зёрнами, размером в среднем около 0,01 мм, который образует ядра зональных образований. Хромит высокотитанистый (мас. %): 5,3—10,8 TiO_2 , в нём отмечены довольно широкие вариации содержаний Cr_2O_3 (27,2—48,5) и FeO (26,9—47,1) при сравнительно небольших вариациях MgO (7,2—11,0) и Al_2O_3 (2,9—5,2). В краевых частях зёрен хромита развит рутил, тонкие (0,001 мм) оторочки представлены Cr-содержащим титаномагнетитом (1,3—3,3 Cr_2O_3).

Титаномагнетит основной массы имеет следующий состав (мас. %): FeO 61,1—71,8, TiO_2 5,6—13,9, MgO 4,6—9,4, Cr_2O_3 1,6—8,6, Al_2O_3 1,2—6,0.

Рутил образует гомогенные зёрна размером в среднем около 0,01 мм, рубашки вокруг зёрен пикроильменита, а также более крупные полуразрушенные зёрна, которые, вероятно, представляют собой фрагменты рубашек пикроильменита. Судя по пониженному содержанию в нём TiO_2 (88,6—95,4 мас. %), рутил замещен лейкоксом. Кроме того, в рутиле установлена устойчивая примесь FeO в количествах 0,5—3,5 мас. %.

В качестве акцессорной примеси в нескольких обломках установлены единичные зёрна апатита короткостолбчатой формы, размером 0,005—0,01 мм.

В ряде обломков встречается также минерал, образующий изометричные или ксеноморфные зёрна размером около 0,015 мм, в котором определены редкоземельные элементы Ce, La и Nd. Количественно содержания данных элементов не определялись, но, судя по присутствию в спектре элементов Ca, S, O, можно предположить, что данный минерал может быть карбонатом (водным карбонатом), хотя наличие в спектре углерода может быть также обусловлено углеродным напылением.

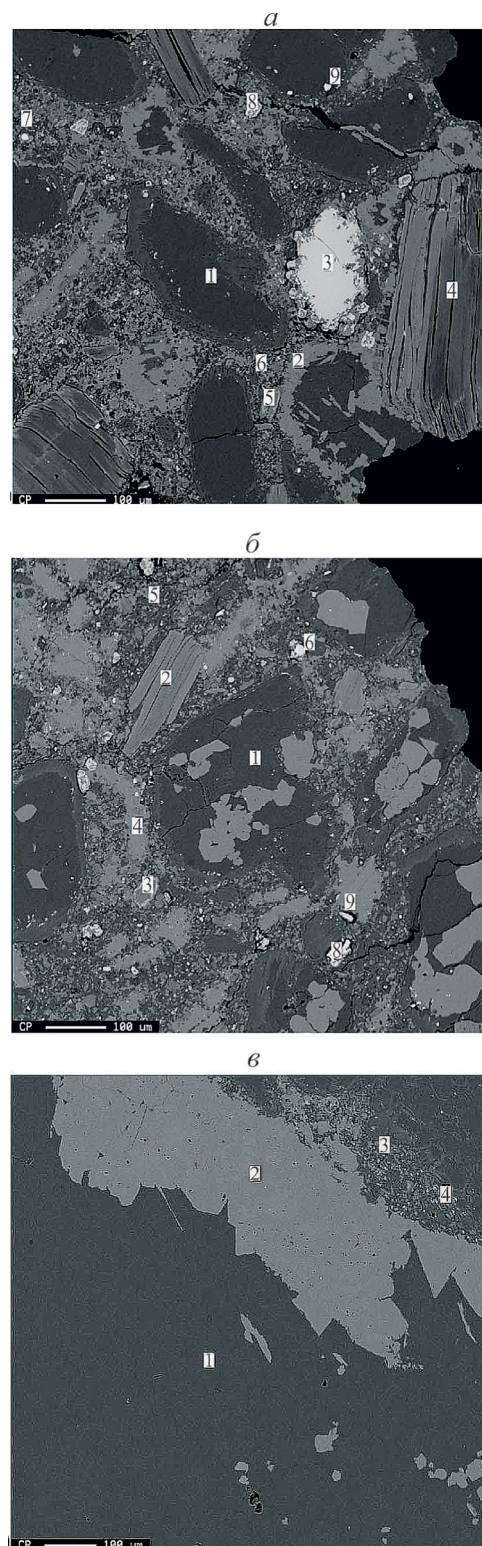


Рис. 2. Микрообломки кимберлитов в режиме фазового контраста (проба № 6, глубина 117,0 м): а — 1 — псевдоморфоза серпентина по оливину; 2 — кальцит по периферии псевдоморфозы; 3 — пикроильменит; 4 — флогопит порфиоровый; 5 — флогопит основной массы; б — серпентин основной массы; 7 — хромит; 8 — рутил; 9 — хромит в псевдоморфозе; в — 1 — псевдоморфоза серпентин-кальцитового состава по оливину; 2, 3 — флогопит; 4 — кальцит основной массы; 6 — хромит; 7 — рутил; 8 — титаномагнетит; 9 — пикроильменит; в — 1 — серпентин; 2 — кальцит; 3 — хлорит; 4 — рутил

Ниже приведены представительные фотографии обломков кимберлитов пробы № 6, выполненные в режиме фазового контраста, с указанием слагающих их минеральных фаз (рис. 2). По результатам микрозондового изучения обломки не имеют явных различий в составе и подобны обломкам, полученным из пробы № 6. Кимберлит, слагающий обломки, характеризуется мелкопорфировым строением, образованным вкрапленниками-псевдоморфозами по оливину, выполненными серпентином или серпентин-кальцитовым агрегатом. В серпентине из центральных частей псевдоморфоз среднее содержание MgO составляет (в мас. %): 39,0, FeO — 2,2, в серпентине краевых частей псевдоморфоз — MgO — 37,2 и FeO — 5,5. Изучено четыре микрообломка гранулометрического класса $-2+1$ мм. Обломки визуально однотипные, грязно-серовато-зелёного цвета, угловатой формы (рис. 3). Основная масса сложена серпентин-кальцитовым агрегатом, где серпентин в разной степени хлоритизирован. Флогопит основной массы высокомагнезиальный (в мас. %) — MgO 16,9—24,8, содержит примеси TiO_2 1,3—3,9 и/или Cr_2O_3 0,5—1,5; краевые части зёрен обогащены BaO 0,7—3,9, в одном анализе — до 20. Нередко флогопит частично хлоритизирован. Микрокристаллические оксиды представлены (в мас. %): хромитом (Cr_2O_3 17,2—46,8, FeO 27,2—47,1, TiO_2 5,1—13,6, MgO 8,9—10,4, Al_2O_3 4,1—4,7) зонального строения, высокомагнезиальным пикроильменитом: MgO 12,2—13,7 с примесью Cr_2O_3 в количестве 1,7—4,4, хромсодержащим (Cr_2O_3 3,8—4,0) титаномагнетитом, лейкоксенизированным рутилом. В одном обломке пробы № 6, диагностирован минерал содержащий РЗЭ, другой обломок представлен серпентин-кальцитовой псевдоморфозой по оливину с вкраплениями барита. Ниже приведены фотографии отдельных микрообломков в режиме фазового контраста (рис. 4).

Проба № 8 (глубина 141,0 м). Изучен один микрообломок размером $-2+1$ мм, угловатой формы, грязно-серовато-зелёного цвета (рис. 5). На рис. 6 в режиме фазового контраста показан обломок, который ни по структурно-текстурным особенностям, ни по составу не отличается от предыдущих. Вкрапленники в нём представлены псевдоморфозами по оливину, выполненными серпентином или серпентин-кальцитовым агрегатом и высокомагнезиальным (MgO — 12,2 мас. %) пикроильменитом с примесью Cr_2O_3 (2,6). Основная масса сложена серпентин-кальцитовым агрегатом, где серпентин в той или иной степени хлоритизирован. Флогопит основной массы высокомагнезиальный (MgO 23,3—25,3 мас. %), содержит повышенные примеси TiO_2 (1,3—1,9 мас. %), в краевых частях зёрен отмечено повышенное содержание BaO (до 1,2 мас. %). Нередко флогопит хлоритизирован. Микрокристаллические включения представлены



Рис. 3. Обломки кимберлитов (проба № 7, глубина 124,0 м)

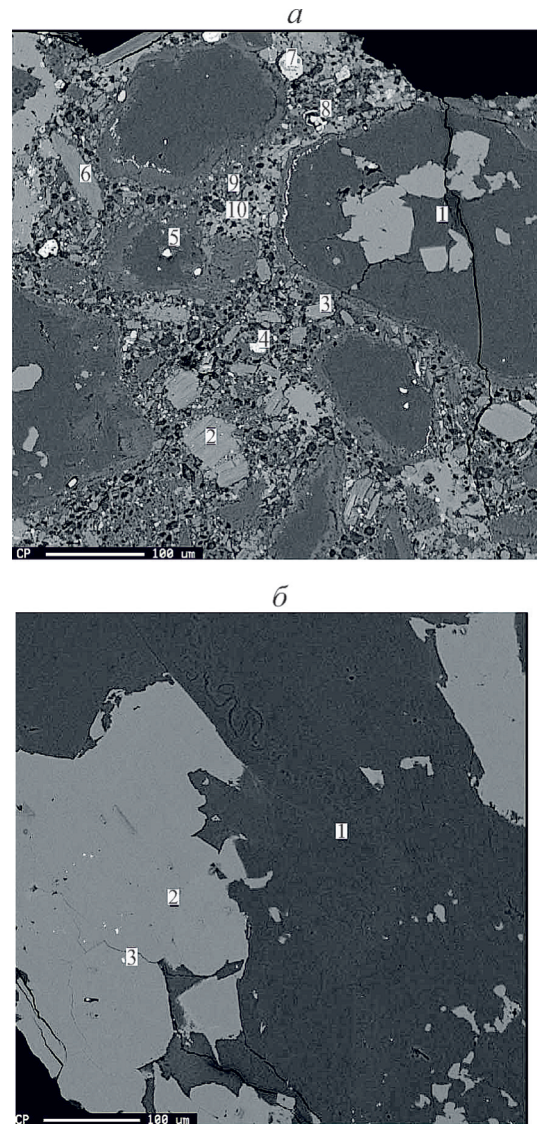


Рис. 4. Обломки кимберлитов (проба № 7, глубина 124,0 м) в режиме фазового контраста: *a* — 1 — псевдоморфоза серпентин-кальцитового состава по оливину; 2, 3, 6 — флогопит; 4 — титаномагнетит; 5 — хромит в псевдоморфозе; 7 — рутил; 8 — хромит зональный; 9 — серпентин основной массы; 10 — кальцит основной массы; *б* — 1 — серпентин; 2 — кальцит; 3 — барит



Рис. 5. Обломок кимберлита (проба № 8, глубина 141,0 м)

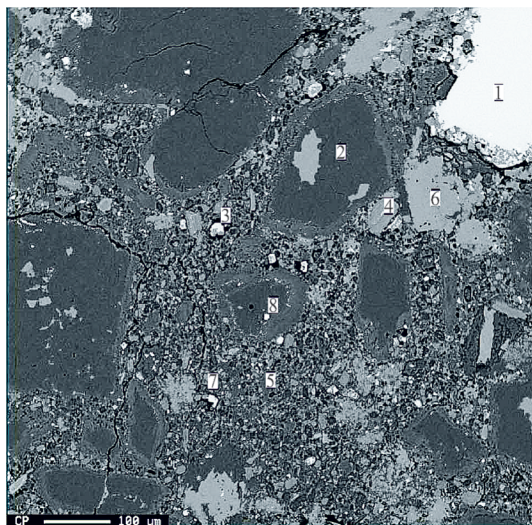


Рис. 6. Обломок кимберлита пробы № 8, глубина 141,0 м) в режиме фазового контраста: 1 — пикроильменит; 2 — псевдоморфоза серпентина по оливину; 3 — рутил; 4 — флогопит основной массы; 5 — серпентинит основной массы; 6 — кальцит основной массы; 7 — хромит основной массы

хромитом (Cr_2O_3 27,4, FeO 43,6, TiO_2 10,9, MgO 9,8, Al_2O_3 3,9 мас. %), высокомагнезиальным (MgO 13,3 мас. %) пикроильменитом с примесью Cr_2O_3 (3,2, мас. %), лейкоксенизированным рутилом (рис. 7).

Особенности состава индикаторных минералов кимберлита

Традиционно к основным индикаторным минералам кимберлита (ИМК) относят гранат (пироп), высокомагнезиальный ильменит (пикроильменит), хромшпинелид, оливин и хромдиопсид. В ходе исследований кимберлитового тела Январское были изучены физиографические особенности и проанализированы следующие зёрна ИМК: гранат (174 зерна), пикроильменит (194), хромдиопсид (100), хромшпинелид (91), оливин (2).

Гранат. Положение фигуративных точек гранатов кимберлитового тела в координатах Cr_2O_3 — CaO [1] приведено на рис. 7. Гранаты харак-

теризуются преобладанием лерцолитового (65,5 %) парагенезиса, зёрен дунит-гарцбургитового состава, 20,7 %, верлитового — 13,8 %. Гранаты эцлогитового парагенезиса, к которому отнесены зёрна с содержанием Cr_2O_3 менее 0,5 мас. %, не зафиксированы. Среди гранатов установлены 19 пиропов (10,9 %) ультраосновного парагенезиса алмазной ассоциации. Средние содержания основных оксидов: Cr_2O_3 5,38, CaO 5,34, MgO 20,19, FeO 8,20 мас. %. В среднем гранаты высокохромистые, с преобладанием хромистости в интервале 2—5 мас. % (33,9 %), умеренно-кальциевые, умеренно-магниевого, умеренно-железистые.

Пикроильменит. Положение фигуративных точек пикроильменитов Январского тела в координатах TiO_2 — MgO [3] приведено на рис. 7. Пикроильмениты характеризуются преобладанием (73,7 %) зёрен с содержанием гематитового минала в интервале 10—20 мол. %. Доля зёрен с содержанием Fe_2O_3 5—10 мол. % составляет 24,7 %, 0—5 мол. % — 0,5 %, а при $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 20$ мол. %, — 1,0 %. Средние содержания TiO_2 49,81, MgO 10,68, Cr_2O_3 1,51, FeO 36,37 мас. %. В целом пикроильмениты высокохромистые, умеренномагнезиальные, низкожелезистые. Большинство зёрен (61,3 %) обладают магнетиальностью 9—12 мас. %.

Хромшпинелид. Положение фигуративных точек хромшпинелидов кимберлитового тела в координатах Cr_2O_3 — Al_2O_3 представлено на рис. 7. Распределение фигуративных точек образует два тренда: перидотитовый, вдоль линии хромит-алюмохромит-хромпикотит и слабовыраженный пикритовый, вдоль линии хромит-ульвошпинель-титаномагнетит [2]. Преобладают собственно хромиты (51,6 %), доля алюмохромитов составляет 23,1 %, изменённых зёрен — 24,2 %, ульвошпинель зафиксирована в количестве 1,1 %. Хромиты алмазной ассоциации составляют 3,3 %. Средние содержания основных минералообразующих оксидов (мас. %): Cr_2O_3 49,14, Al_2O_3 11,75, FeO 23,14, MgO 12,18, TiO_2 1,82.

Оливин. По Январскому телу получены результаты двух определений оливинов. Средние содержания основных минералообразующих оксидов (мас. %): MgO 48,74, FeO 9,98, Na_2O 0,01, SiO_2 37,21, Al_2O_3 0,02, CaO 0,04.

Хромдиопсид. По результатам 100 определений хромдиопсидов средние содержания основных минералообразующих оксидов в них составили (мас. %): MgO 15,04, Na_2O 2,93, SiO_2 51,70, CaO 18,22, Cr_2O_3 2,93.

Выводы

По результатам детального изучения вещественного состава кимберлита и его индикаторных минералов, полученного по микрообломкам, отобраным из проб первой скважины 5071Л/4, вскрывшей новое кимберлитовое тело трубку Январская, можно сделать следующие предварительные выводы:

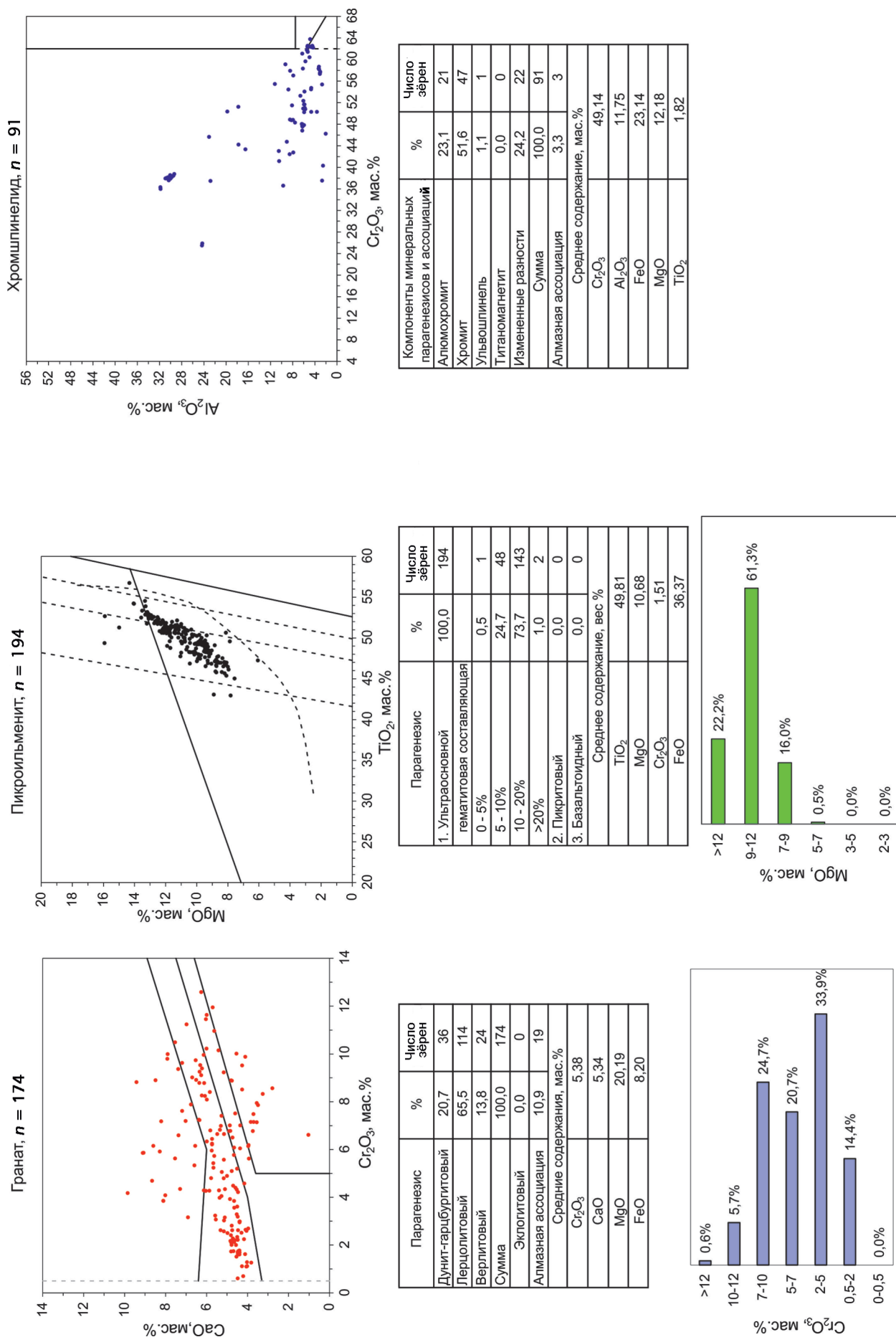


Рис. 7. Химические составы гранатов, пикроильменитов и хромшпинелидов кимберлитового тела Январское

1. Открытие трубки Январская свидетельствует о правильности применения методики шлихоми-нералогического опробования керна базальных горизонтов, вскрываемых колонковыми скважинами погребённых верхнепалеозойских отложений, которая позволяет успешно выявлять новые кимберлитовые тела в пределах перспективных площадей.

2. Изучение кимберлитов по микрообломкам кимберлитов позволяет оперативно установить особенности вещественного состава нового кимберлитового тела. Все изученные обломки имеют сходный состав и структурно-текстурные особенности, присущие одному коренному источнику (трубке Январская), вариаций в их составах не отмечено.

3. Отличительной особенностью выявленных кимберлитов трубки Январская является обнару-

жение в их составе (проба №6, глубина 117,0 м и № 7, глубина 124,0 м) по рентгеновским спектрам минералов (предположительно карбонатов), содержащих РЗЭ, что требует проведения дальнейших тонких инструментальных исследований.

4. По результатам изучения особенностей химизма индикаторных минералов кимберлитов следует отметить, что полученные результаты по химизму ИМК трубки Январская являются весомым дополнением к существующей базе данных по Алаakit-Мархинскому полю. Они, безусловно, помогут в вопросе идентификации существующих погребённых шлиховых ореолов минералов-индикаторов кимберлита, что в свою очередь позволит более надёжно прогнозировать и выявлять новые кимберлитовые объекты, в том числе высокоалмазоносные [1, 2, 4, 11].

ЛИТЕРАТУРА

- Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Фролов А.А. Минералогия платформенного магматизма (траппы, карбонаты, кимберлиты). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 537 с.
- Василенко В.Б., Толстов А.В., Кузнецова Л.Г., Минин В.А. Петрохимические критерии оценки алмазоносности кимберлитовых месторождений Якутии // Геохимия. 2010. № 4. С. 366–376.
- Иванов Д.В., Салихов Р.Ф., Толстов А.В., Иванов В.В., Григорьева Н.А. Особенности поисков кимберлитов в пределах Алаakit-Мархинского поля // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы VII Всероссийской конференции, ВНКП-2017. Якутск: Изд-во СВФУ, 2017. С. 266–271.
- Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т. Геологические и минералогическо-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. 2006. № 4. С. 59–67.
- Кременецкий А.А., Карась С.А., Толстов А.В. Геохимические поиски кимберлитовых трубок на закрытых территориях: проблемы и решения // Региональная геология и металлогения. 2006. № 27. С. 126–139.
- Лапин А.В., Толстов А.В., Антонов А.В. Изотопный состав Sr- и Nd кимберлитов и конвергентных с ними пород Сибирской платформы // Докл. РАН, 2007. Т. 414. № 1. С. 78–82.
- Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов. // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 3. С. 86–94.
- Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. 2008. № 4–5. С. 108–112.
- Соболев Н.В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–80.
- Соболев Н.В., Соболев А.В., Томиленко А.А., Батанова В.Г., Толстов А.В., Логвинова А.М., Кузьмин Д.В. Уникальные особенности состава вкрапленников оливина посттрапповой алмазоносной кимберлитовой трубки Малокуонапская, Якутия // Докл. РАН. 2015. Т. 463. № 5. С. 587–591.
- Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накынской области Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 227–240.
- Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Геолого-генетические основы шлихоминералогического метода поисков алмазных месторождений. М.: Недра, 1995. 348 с.
- Хмельков А.М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). Новосибирск: АРТА, 2008. 252 с.
- Шкодзинский В.С., Толстов А.В. Признаки алмазоносности кимберлитов // Наука и образование. 2007. № 4. С. 11–16.
- Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Malkovets V.G., Sobolev N.V., Tolstov A.V., Polyanichko V.V. New age data on kimberlites from the Yakutian diamondiferous province // Doklady Earth Sciences. 2004. Т. 399. N 8. P. 1142–1145.