

Микропримеси в хромшпинелидах из алмазов Архангельской и Якутской алмазоносных провинций

Серебрянников А.О. , Логвинова А.М., Михайленко Д.С.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, aos_97@ngs.ru

Аннотация. Методом микрозондового анализа изучен микропримесный (Zn, Mn, Ni, Ti, V, Si) состав 243 кристаллов хромшпинелидов из алмазов четырех кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции (54 шт.) и восьми кимберлитовых трубок Мало-Ботуобинского и Далдыно-Алакитского районов Якутской алмазоносной провинции (189 шт.), а также 22 зерен хромшпинелидов из алмазоносной россыпи Курунг-Юрях. Установлено, что различия по $\#Cr$ и $\#Mg$ между хромшпинелидами из алмазов Якутской и Архангельской алмазоносными провинциями минимальны и в среднем составляют $\Delta \approx 2\%$. Значимые отличия выявлены только по содержанию примесей V_2O_3 и MnO ($\Delta = 0.08$ и 0.05 мас. % соответственно). Различия в составе хромшпинелидов из алмазов и подобных им из россыпи Курунг-Юрях более значительны и характеризуются двукратным расхождением по содержанию ZnO , V_2O_3 , и NiO . Сравнение составов хромшпинелидов из алмазов по отдельным трубкам показало, что, хотя в ряде случаев их состав может варьировать, но преимущественно в пределах одного района/провинции хромшпинелиды из алмазов имеют типичные характеристики.

Ключевые слова: хромшпинелид, алмаз, минеральные включения, химический состав, микрозонд.

Chrome-spinel microimpurities from diamonds of the Arkhangelsk and Yakutsk diamondiferous provinces

Serebriannikov A.A. , Logvinova A.M., Mikhailenko D.S.

Sobolev institute of geology and mineralogy SB RAS, Novosibirsk, aos_97@ngs.ru

Abstract. Microprobe analysis was used to study the microimpurity (Zn, Mn, Ni, Ti, V, Si) composition of 243 chrome spinel crystals from diamonds of four kimberlite pipes of the Arkhangelsk diamond province (54 pcs.) and eight kimberlite pipes of the Malo-Botuobinsky and Daldyn-Alakitsky regions of the Yakutia diamond province (189 pcs.), as well as 22 grains of chrome spinels from the Kurung-Yuryakh diamondiferous placer. It has been found that the differences in $\#Cr$ and $\#Mg$ between Cr-spinels from diamonds from the Yakutia and Arkhangelsk diamondiferous provinces are minimal and average difference equals $\Delta \approx 2\%$. Significant differences were found only in the content of V_2O_3 and MnO impurities ($\Delta = 0.08$ and 0.05 wt %, respectively). Differences in the composition of chromium spinels from diamonds and chrome-spinels from the Kurung-Yuryakh placer are more significant and are characterized by a twofold discrepancy in the content of ZnO , V_2O_3 , and NiO . Comparison of the compositions of chrome spinels from diamonds for individual pipes showed that, although in some cases, their composition may vary, but mainly within the same region/province, diamond chrome spinels have typical characteristics.

Keywords: chrome spinel, diamond, mineral inclusions, chemical composition, microprobe.

Введение

Хромшпинелид с общей формулой $(Mg^{2+}, Fe^{2+})(Cr^{3+}, Al^{3+}, Fe^{3+})_2O_4$ является распространённым акцессорным минералом большого спектра ультраосновных и основных пород, таких как гарцбургиты, дуниты, лерцолиты, вебстериты и верлиты (Соболев, 1977).

Минеральные включения в кристаллах алмаза остаются предметом многочисленных исследований на протяжении полувека. В преобладающем числе работ, основное внимание исследователей было уделено Cr-пиропу и Cr-диопсиду, а также ортопироксену и оливину. Хромшпинель, наряду с пиропом и оливином, является одним из самых распространённых типом включений в кристаллах алмаза. Однако, не смотря на широкую распространенность этого минерала во включениях в алмазах, данные о составе хромшпинели остаются фрагментарными и далеко не полными (Ефимова и др., 1977).

Хромшпинелид, наряду с хромистым пиропом и оливином, является одним из основных включений в алмазах ультраосновного (У-тип) парагенезиса и не встречается в алмазах экологитового

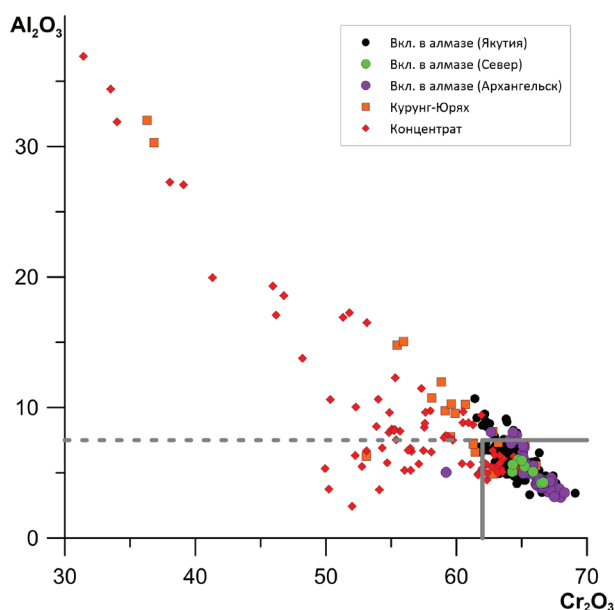


Рис. 1. Составы хромшпинелидов из алмазов, из концентрата кимберлитов и россыпи Курунг-Юрях. Прямыми линиями ограничены составы, относящиеся к «алмазной» ассоциации – 62 мас. % Cr_2O_3 и 7.5 мас. % Al_2O_3 .

Fig 1. Chrome-spinel compositions from diamonds, kimberlite concentrate and the Kurung-Yuryakh placer. Straight lines limit the compositions common to the «diamond» association – 62 wt. % Cr_2O_3 and 7.5 wt. % Al_2O_3 .

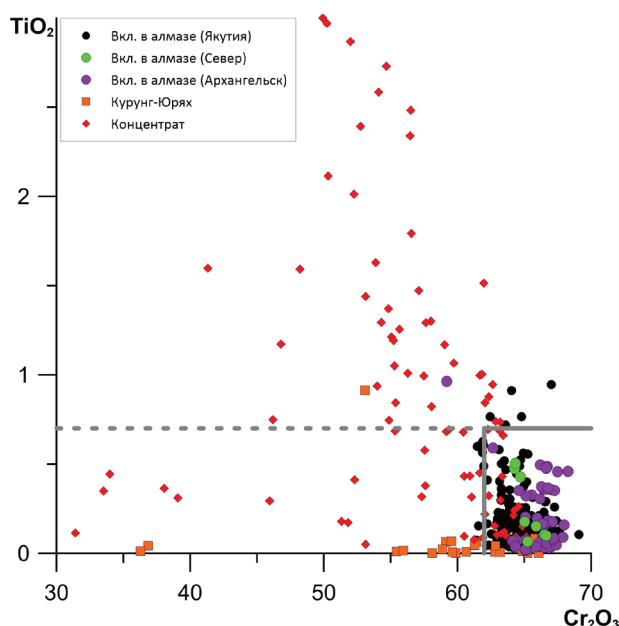


Рис. 2. Составы хромшпинелидов из алмазов, из концентрата кимберлитов и россыпи Курунг-Юрях. Прямой линией ограничены составы, относящиеся к «алмазной» ассоциации – 0.7 мас. % TiO_2 .

Fig. 2. Chrome-spinel compositions from diamonds, kimberlite concentrate and Kurung-Yuryakh placer. The straight line limits the compositions related to the «diamond» association – 0.7 wt. % TiO_2 .

(Э-тип) парагенезиса (Соболев и др., 1974; Harris et al., 1992). Такие хромшпинелиды относятся к пикрохромитам и имеют определённый состав: высокое содержание хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 62$ мас. %), и низкие – $\text{Al}_2\text{O}_3 (< 7.5$ мас. %), $\text{TiO}_2 (< 0.7$ мас. %) и Fe_2O_3 (рис. 1, 2). Но несмотря на то, что такой типоморфный состав позволяет вычленивать их среди хромшпинелидов, генетически связанных с другими типами пород, однако не позволяет выявить особенности включений-пикрохромитов в алмазах из разных алмазоносных районов (провинций) и отдельных кимберлитовых трубок.

Целью нашего исследования было уточнение типоморфизма состава пикрохромита из алмазов и попытка выявления различий в микропримесном составе между различными кимберлитовыми трубками и отдельными районами в пределах Якутской и Архангельской алмазоносных провинций.

Методы

Аналитические работы выполнены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН» (г. Новосибирск). Содержание Cr^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe_{tot} , Nb^{5+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Ti^{4+} , Ca^{2+} , Si^{4+} , Ni^{2+} и V^{3+} во включениях хромшпинелидов было изучено с помощью микроанализаторов с электронным зондом Camebax-micro фирмы Сатеса и JXA-8100 фирмы JEOL с применением стандартной методики, при параметрах: сила тока равная 100 нА, ускоряющем напряжении 20 кВ и времени съёмки в точке равным 10 сек. Предел обнаружения элементов со значимыми концентрациями следующие (мас. %): $\text{MnO} - 0.03$, $\text{ZnO} - 0.05$, $\text{TiO}_2 - 0.02$, $\text{MgO} - 0.03$, $\text{SiO}_2 - 0.02$, $\text{NiO} - 0.025$, $\text{V}_2\text{O}_5 - 0.03$, $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 0.03$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.02$, $\text{FeO}_{\text{tot}} - 0.03$.

Результаты

Изучено 189 кристаллов хромшпинелидов из алмазов восьми кимберлитовых трубок двух алмазоносных районов Якутии: тр. Краснопресненская, Комсомольская, Юбилейная, Удачная, Айхал, Удачная (Далдыно-Алакитский район), тр. Мир и Интернациональная (Мало-Ботуобинский район); а также россыпей (Муна, Эбелях) и кимберлитовых трубок (тр. Русловая) северо-востока Сибирского кратона (рис. 3). Из Архангельской алмазоносной провинции

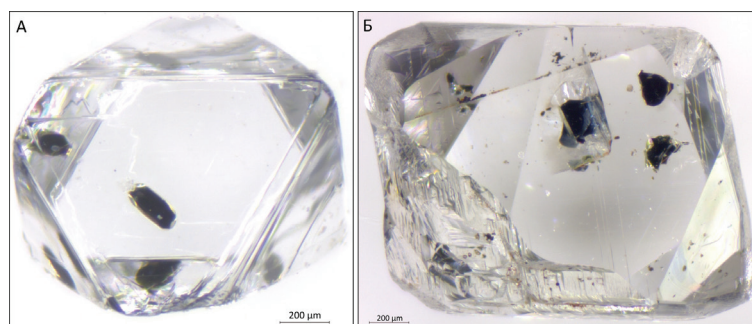


Рис. 3. Типичные алмазы с включениями хромшпинелидов из кимберлитов Якутии. А – тр. Интернациональ-ная; Б – тр. Юбилейная.

Fig. 3. Typical diamonds with Chrome-spinel inclusions from kimberlites of Yakutia. А – р. International'naya; Б – р. Yubileinaya.

было изучено 54 включения пикрохромита из алмазов четырёх кимберлитовых трубок (тр. Ломо-носова, Пионерская, Карпинского и Поморская). Также исследовано 22 кристалла хромшпинелида из алмазоносной россыпи Курунг-Юрях, главной особенностью которых является то, что несмотря на близость их состава с пикрохромитами из алмазов, они имеют не мантийное, а коровое проис-хождение (Афанасьев и др., 2000).

Магнезиальность $\#Mg$ [$MgO/(MgO+FeO)$] колеблется от 27.15 до 63.77 % для Далдыно-Алакитского (ДА) и от 33.91 до 51.9 % для Мало-Ботуобинского района (МБ). В среднем хромшпи-нелиды ДА имеют более высокий $\#Mg$ преимущественно из-за хромшпинелидов тр. Комсомольская и тр. Сытыканская. Хромистость $\#Cr$ [$Cr_2O_3/(Cr_2O_3+Al_2O_3)$] варьируется от 85.17 до 95.17 % в ДА

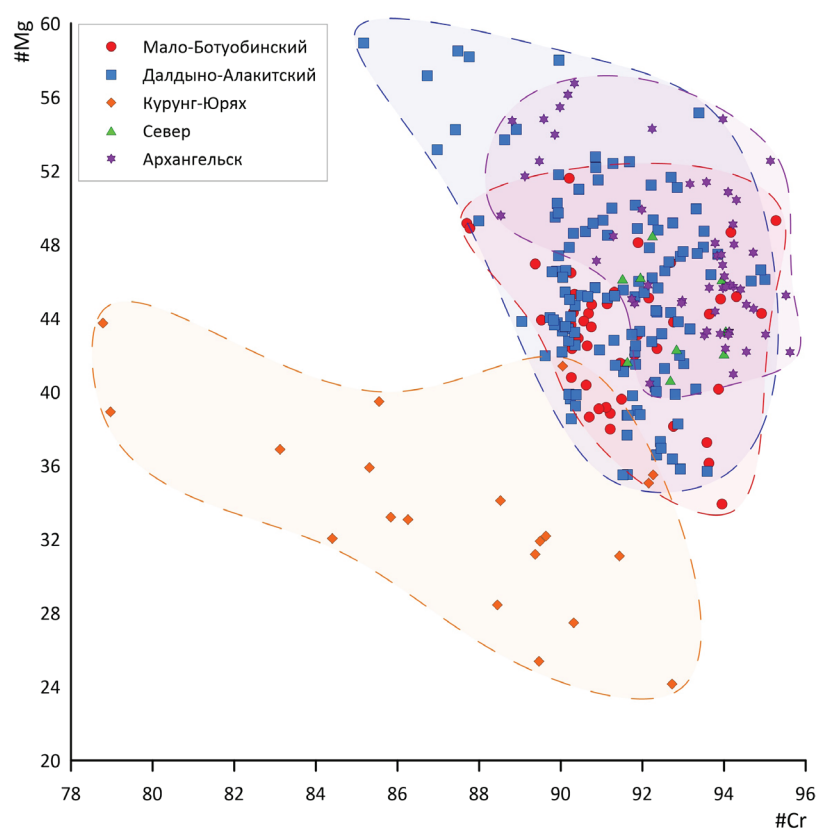


Рис. 4. Составы хромшпинелидов из 2 алмазоносных районов Якутии, Архангельской алмазоносной провин-ции и алмазоносной россыпи Курунг-Юрях.

Fig. 4. Chrome-spinel compositions of 2 diamond-bearing regions of Yakutia, Arkhangelsk diamondiferous province and the Kurung-Yuryakh diamondiferous placer.

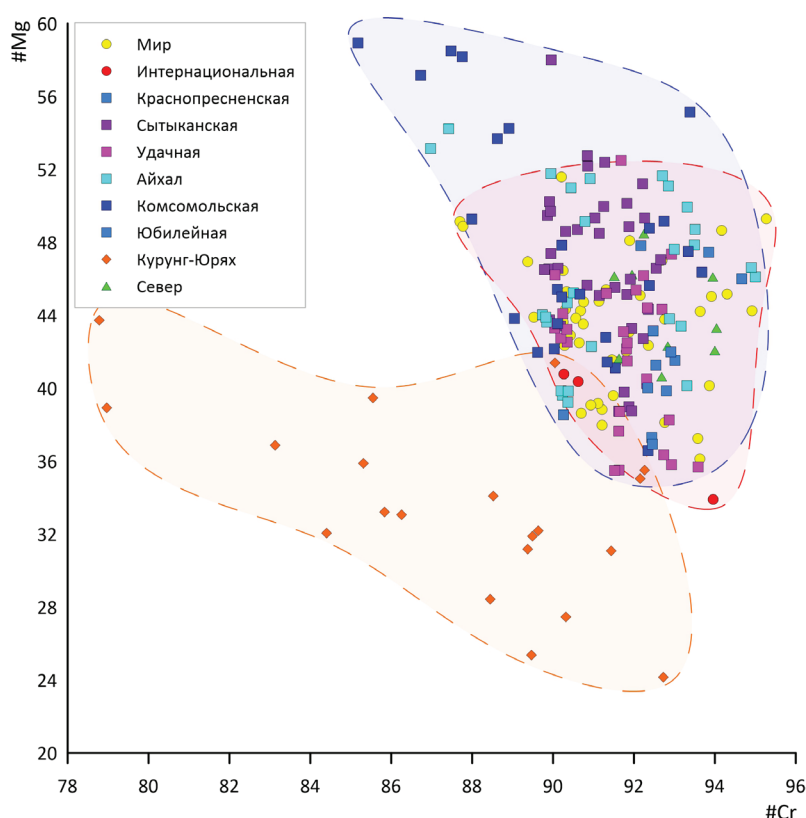


Рис. 5. Составы хромшпинелидов из алмазов 8 кимберлитовых трубок Якутии, северных трубок и россыпей, и алмазоносной россыпи Курунг-Юрях.

Fig. 5. Chrome-spinel compositions from diamonds of 8 kimberlite pipes of Yakutia, northern pipes and placers, and the Kurung-Yuryakh diamondiferous placer.

и от 87.70 до 95.27 % в МБ. Средние содержания $\#Cr$ в ДА и МБ довольно близки (91.31 и 91.53 % соответственно) из-за чего более широкие вариации $\#Cr$ в хромшпинелидах ДА вероятно связаны с большими выборками, чем у МБ (130 шт. против 47 шт. соответственно). $\#Cr$ и $\#Mg$ Архангельских хромшпинелидов и алмазов (от 88.53 до 95.61 % и от 40.46 до 56.74 % соответственно) занимает промежуточное положение между ДА и МБ Якутии. Хромистость и магниальность северных трубок и россыпей (от 91.51 до 94.04 % и от 40.62 до 48.47 % соответственно) полностью попадают в поле составов хромшпинелидов из алмазов кимберлитовых трубок МБ. Средние содержания $\#Cr$ и $\#Mg$ алмазоносной россыпи Курунг-Юрях составляют 84.15 и 35.17 % соответственно (рис. 4, 5).

Основное различие в концентрациях примесных компонентов было выявлено между пикрохромитами из алмазов и хромшпинелидами алмазоносной россыпи Курунг-Юрях, а именно практически двукратная разница в концентрациях V_2O_3 , ZnO и NiO (табл. 1). Различия в концентрациях в остальных элементах между этими типами хромшпинелидов незначительны. Сравнение концентраций примесных элементов на уровне Архангельской и Якутской алмазоносных провинций показало минимальные различия в их содержании, за исключением V_2O_3 и MnO ($\Delta = 0.08$ и 0.05 мас. % соответственно) (табл. 1). Сравнение же на уровне отдельных кимберлитовых трубок в пределах районов и провинций показало, что некоторые трубки могут выбиваться из общей тенденции: например, тр. Сытыканская имеет повышенные концентрации V_2O_3 на фоне остальных трубок ДА (0.33 против среднего в 0.27 мас. %), тр. Комсомольская с различием в содержании MnO (0.17 против среднего в 0.21 мас. %) или тр. Ломоносовская с пониженными содержаниями SiO_2 среди остальных трубок Архангельской алмазоносной провинции (0.06 против среднего в 0.10 мас. %). Хромшпинелиды северных трубок и россыпей показали полную идентичность примесного состава хромшпинелидам из МБ.

Таблица 1. Средние концентрации элементов в мас. %.
 Table 1. Mean element concentrations in wt. %.

Источник / Элемент	ZnO	NiO	V ₂ O ₃	MnO
Курунг-Юрях	0.15			0.26
Включения в алмазе (Якутия)				0.21
Включения в алмазе (Архангельск)	0.08	0.09	0.22	0.20

Обсуждение

Полученные данные по составу хромшпинелидов показывают, что, несмотря на некоторые различия в концентрациях примесных элементов в различных трубках Архангельской и Якутской алмазоносных провинций, в целом хромшпинелиды из алмазов имеют одинаковый уровень содержания элементов-примесей за исключением V₂O₃ и MnO. Исходя из этого, можно предположить, что, либо все хромшпинелиды из алмаза имеют сходные концентрации примесных элементов, либо это справедливо лишь для хромшпинелидов из алмазов Якутской и Архангельской алмазоносных провинций. Но из-за недостаточного количества данных сделать однозначный вывод не представляется возможным.

Различия в концентрациях примесных элементов между включениями хромшпинелидов в алмазах и хромшпинелидами алмазоносной россыпи Курунг-Юрях подтверждает данные об ином происхождении последних и позволяет уточнить типоморфизм состава хромшпинелидов, относящихся к алмазному парагенезису. А различия в содержании таких элементов, как V, Zn и Ni, открывают потенциальную возможность использования этих особенностей состава в качестве поискового признака на алмаз, т.к. концентрации данных элементов можно измерить с помощью доступного метода (микросондового анализа). Из-за отсутствия самостоятельности актуального типоморфного признака по содержанию главных элементов в хромшпинелидах-включениях в алмазе, надёжным поисковым признаком до настоящего времени остается только наличие парагенетической ассоциации Сг-пироп+хромшпинелид (Илупин, 2002).

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН № 122041400157-9.

Литература

1. Алифиров Т.А. Продукты распада твердых растворов в гранатах и пироксенах: на материале мантийных ксенолитов из кимберлитов. Дисс. на соискание к.г.-м.н. Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, 2015. 247 с.
2. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Логвинова А.М., Зинчук Н.Н., Эфимова Э.С., Сафьянников В.И., Красавчиков В.О., Подгорных Н.М., Пругов В.П. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой “ложных” индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 12. С. 1729–1741.
3. Ефимова В.С., Соболев Н.В. Распространённость кристаллических включений в алмазах Якутии // Доклады АН СССР, 1997. Т. 237. № 6. С. 1475–1478.
4. Илупин И.П. Высокохромистые хромиты из кимберлитов и ультрабазитов — сходства и различия // Руды и металлы. 2002. № 4. С. 54–58.
5. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск: Наука, 1974. С. 263.
6. Harris J.W. The Properties of Natural and Synthetic Diamond // Ed. J.E. Field., Academic Press, London, 1992, 345–393 p.
7. Sobolev N.V. Deep Seated Inclusions in Kimberlites and Composition of the Upper Mantle. American Geophysical Union. Washigton. 1977.