

## О СОСТАВАХ ХРОМИСТЫХ ПИРОПОВ ЛЕРЦОЛИТОВЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ ИЗ НЕАЛМАЗОНОСНЫХ И АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ

А. С. Иванов<sup>1</sup>, З. В. Специус<sup>1</sup>, И. В. Ащепков<sup>2</sup>, А. В. Толстов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИГП АК «АЛРОСА» ПАО, г. Мирный  
<sup>2</sup>ГИИ СО РАН им. В.С. Соболева, г. Новосибирск

Поступила в редакцию 17 июля 2019 г.

**Аннотация:** *пироп относится к числу ведущих индикаторных минералов большинства мантийных парагенезисов в кимберлитах. Кроме того, несомненно, он наиболее информативен и наиболее изучен как представитель минералов мантийных пород перидотитового и эклогитового состава. Классической остается на сегодняшний день классификация составов пиропов, которая основана на диаграмме Н. В. Соболева CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1]. Дискретные поля на диаграмме позволяют отнести состав пироба к конкретным парагенезисам. В данной работе показано, что редкоземельные элементы неравномерно накапливаются в составах пиропов из алмазоносного кимберлита трубка Сьюльдюкарская и неалмазоносного кимберлита трубки Шандонгу [2]. Пузырьковые диаграммы дополняют информацией популярную диаграмму. При этом у графика появляется новая информация, которая показывает критерии различия по этим признакам составов пиропов из алмазоносных и неалмазоносных кимберлитов. В работе определены дополнительные характерные особенности для составов пиропов лерцолитовых парагенезисов из алмазоносных кимберлитов и неалмазоносных кимберлитов по содержаниям марганца и магния. Для алмазоносных кимберлитов характерны составы пиропов лерцолитовых парагенезисов с повышенными значениями окиси марганца более 0,4 % весовых и пониженными значениями окиси магния менее 20 % весовых.*

**Ключевые слова:** *пироп, алмазоносный кимберлит, редкоземельные элементы, пузырьковые диаграммы*

### THE COMPOSITION OF CHROMOUS PYROPE LHERZOLITIC PARAGENESIS FROM DIAMONDIFEROUS KIMBERLITES AND PALMISANOS

**Abstract:** *pyropes are among the leading typomorphic minerals of the majority of mantle parageneses in kimberlites. In addition, it is undoubtedly the most informative and most studied as a representative of minerals of mantle origin of peridotite paragenesis and eclogite. It remains classic to date the classification of the compositions of pyropes, which is based on the chart N. V. Sobolev CaO - Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1]. The discrete fields on the diagram allow us to refer the composition of pyrope to the definite parageneses. In this work it is shown that rare-earth elements are unevenly accumulated in the pyropes of diamondiferous kimberlite Seldyukarskaya pipe and barren kimberlite pipe Shandongu [2]. The bubble chart is complemented by information popular chart additional features. At the same time, additional information appears in the graph, which shows the criteria for the difference in these characteristics of the compositions of pyropes from diamondiferous and non-diamondiferous kimberlites. The study also identified additional characteristics to compositions of lherzolitic paragenesis pyropes from diamondiferous kimberlites and barren kimberlites contents of manganese and magnesium. For diamondiferous kimberlites typical of the compositions of pyropes of lherzolitic parageneses with high values of manganese oxide more than 0.4 wt% and with low values of magnesium oxide less than 20 wt%.*

**Keywords:** *pyrope, diamond-bearing kimberlite, rare earth elements, bubble diagrams*

#### Введение

Цель данной работы заключалась в определении химических различий в составах пиропов лерцолитовых парагенезисов из алмазоносных и неалмазонос-

ных кимберлитов. Авторы рекомендуют комплексно изучать пиропы с учетом всех измеренных элементов, входящих в их состав. Область составов пиропов из лерцолитовых парагенезисов довольно широкая по

своей природе. Составы пиропов из алмазных и неалмазных лерцолитовых парагенезисов хорошо различаются по содержанию окиси марганца и магния. На примере близких содержаний представительных выборок осуществлено сравнение составов пиропов из алмазного кимберлитового тела (трубка Сюльдюкарская, Якутия) и не алмазного кимберлита (трубка Шандонгу, Ангола) [2].

### Методика эксперимента

На хорошо известной диаграмме Н. В. Соболева [1] пиропы этих двух выборок демонстрируют явно близкий состав. Составы большей части зерен (более 70 %) пиропов относятся к лерцолитовым парагенезисам по содержанию окиси хрома и кальция и очень близки по характеру основного тренда (рис. 1).

Составы пиропов эклогитовых парагенезисов трубки Сюльдюкарская (рис. 1) менее кальциевые и более железистые, чем составы пиропов трубки Шандонгу. Наиболее характерные отличительные особенности составов пиропов из этих двух кимберлитовых тел продемонстрированы и хорошо выражены на диаграммах MgO–MnO (рис. 2).

Составы пиропов трубки Шандонгу характеризуются повышенными значениями окиси магния – на уровне 21 мас. % и их пироповый минал выше, а содержания окиси марганца находятся в среднем на уровне значений 0,4 мас. % (рис. 2). Нами изучены составы минералов трех ксенолитов из кимберлита трубки Шандонгу (рис. 3).

Все они представлены обломками биминеральных эклогитов размером 3–5 мм, с содержанием граната около 60 %. Ксенолиты представлены сростками светло-зеленых зерен клинопироксенов, образующих основную ткань породы, с коричневато-оранжевыми зернами гранатов неправильной и овальной формы, размером 0,5–2,0 мм. По содержанию основных породообразующих элементов в гранатах их можно отнести к магнезиальным эклогитам (табл. 1). Следует отметить относительно высокое содержание хрома (до 0,9 мас. %), а также повышенное содержание марганца (>0,2 мас. % MnO) в пиробах всех образцов (табл. 1). Низкое содержание или полное отсутствие окиси натрия в проанализированных зернах пиропов свидетельствует о том, что они не соответствуют гранатам алмазосодержащих эклогитов или пиропам из сростков с алмазами.

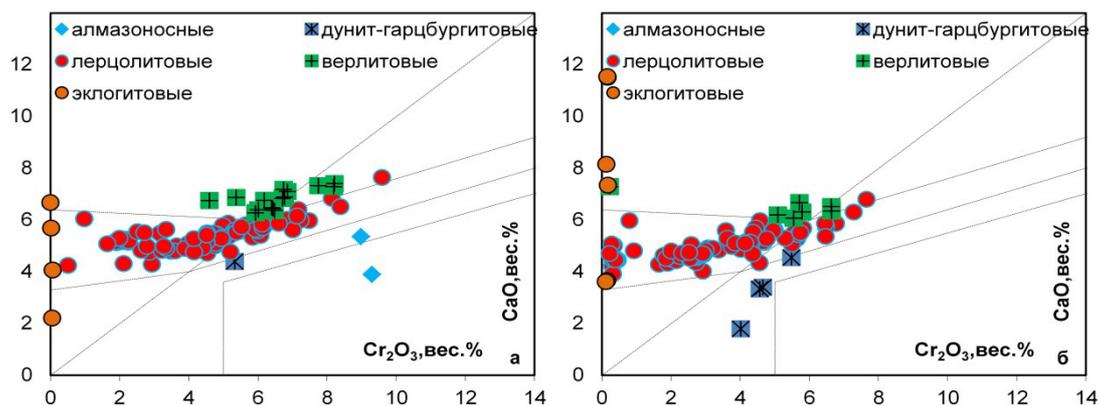


Рис. 1. Диаграммы Н.В. Соболева для составов пиропов алмазного кимберлита трубка Сюльдюкарская (Якутия) (а) и неалмазного трубка Шандонгу (Ангола) (б). На диаграммах различными значками показаны составы пиропов разных парагенетических групп по классификации Н. В. Соболева [1].

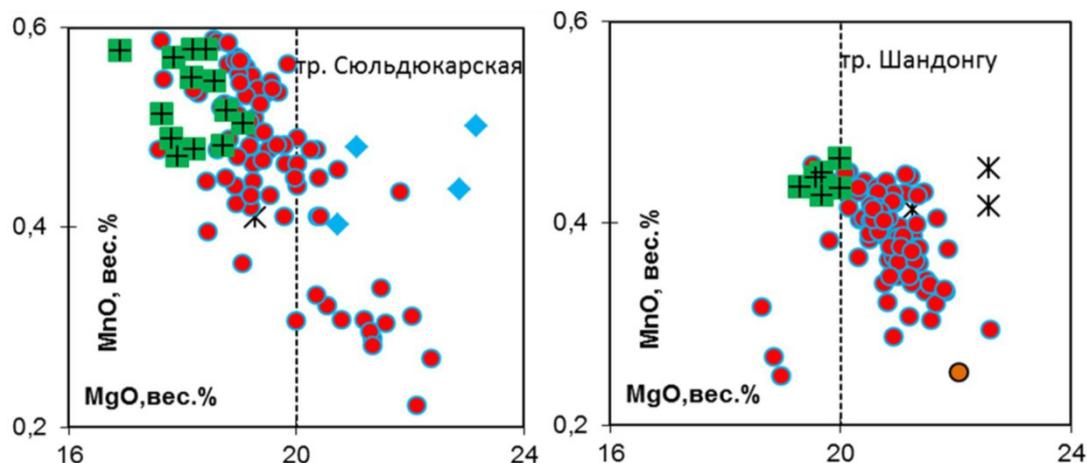


Рис. 2. Диаграммы MgO–MnO для составов пиропов из алмазного кимберлита трубки Сюльдюкарская (Якутия) и неалмазного кимберлита трубки Шандонг (Ангола).



Рис. 3. Ксенолиты из кимберлитовой трубки Шандонгу.

Клинопироксены характеризуются достаточно высокими содержаниями окиси натрия (>3,0 мас. %

Na<sub>2</sub>O) и соответствуют типичным омфацитам с повышенной кальциевостью. Для них характерно высокое содержание титана (0,4 мас. % TiO<sub>2</sub>), небольшое количество хрома и полное отсутствие марганца (табл. 1).

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что ассоциации мантийных ксенолитов в кимберлитовой трубке Шандонгу представлены биминеральными эклогитами магнезиального типа, которые в большинстве случаев, вероятно, соответствуют безалмазным парагенезисам, что говорит о невысокой перспективности данной трубки. По трем опубликованным геотермометрам [3] были вычислены температуры совместной кристаллизации пироба и клинопироксена в ксенолитах трубка Шандонгу при шести режимах давления (табл. 2). По полученным результатам видно, что температуры равновесия гранатов и клинопироксенов низки и не соответствуют области кристаллизации алмазов.

Таблица 1

Микрозондовый состав пироба и клинопироксена

Минерал	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма
Пироб	0,02	13,7	21,9	40,6	11,5	0,2	0,2	0,2	9,2	1,9	99,2
Пироксен	3,2	12,8	6,5	53	19,6	0,4	0,1	0	0,6	2,3	98,4

Таблица 2

PT параметры кристаллизации пироба и клинопироксена

T <sup>0</sup> C / P (ГПа)	10	20	30	40	50	60
Эллис, Грин	632	656	680	704	728	752
Крох	591	616	641	666	691	716
Берман	442	469	493	514	533	550

### Обсуждение результатов

Составы пиробов трубки Сюльдюкарская отличаются более высокими содержаниями окиси марганца, в среднем на уровне значений 0,5 мас. %, а содержания окиси магния – на уровне 19 мас. % и их пиробовый минал следовательно значительно ниже. Перекристаллизация ультраосновного состава магмы происходила с добавлением слоев более железистых эклогитов. Этот процесс происходил на больших глубинах и при больших давлениях, которые соответствовали температурам и давлениям для кристаллизации алмазов. Из данных статистических расчетов получается, что кристаллизация пиробов трубки Сюльдюкарская происходила при более высоких температурах, чем пиробов трубки Шандонгу.

Среди гранатов трубки Сюльдюкарска установлены пиробы ультраосновного парагенезиса и пиробальмандины эклогитового парагенезиса, а также

магнезиальные альмандины. Отмечены близкие содержания пиробов различных парагенетических ассоциаций ультраосновного парагенезиса между кимберлитами обоих тел этой трубки, за исключением зерен алмазной ассоциации дунит-гарцбургитового парагенезиса, которые не обнаружены в низко алмазоносных кимберлитах западного тела. В восточном теле их доля составляет 4,0 %. Пиробальмандины эклогитового парагенезиса единичны.

Несмотря на близкие соотношения гранатов соответствующих парагенезисов, тела заметно различаются соотношениями кластерных групп, рассчитанных по Дж. Доусон и В. Стефенс [4]. Обращает внимание высокий процент (17,65 %) магнезиальных альмандинов кластерной группы G5 и необычно высокая доля (36,76 %) пиробов группы G10 в выборке из кимберлитов западного тела.

Исследование распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в пиробах сравниваемых трубок показало, что содержание РЗЭ в составах пиробов трубки Сюльдюкарская и трубки Шандонгу и их распределение весьма различно с повышенной концентрацией легких РЗЭ в кимберлитах трубки Сюльдюкарская и более высоким содержанием средних РЗЭ в кимберлитах Шандонгу (рис. 4, 5). Существенно различаются кимберлиты этих двух трубок по содержанию Lu, Yb, Tm, Er, что четко прослеживается на пузырьковых диаграммах (рис. 5).

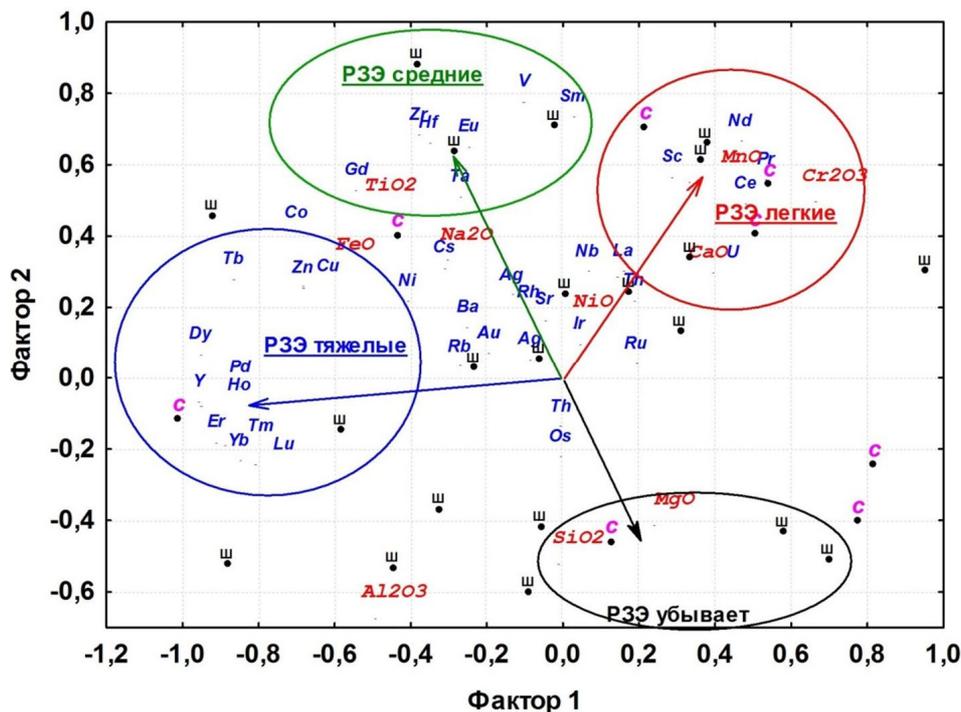


Рис. 4. Проекция на главные факторы содержаний основных и РЗЭ элементов из хромистых пиропов лерцолитовых парагенезисов из алмазного кимберлита трубка Сюдьюкарская (с) и неалмазно кимберлита трубка Шандонгу (ш).

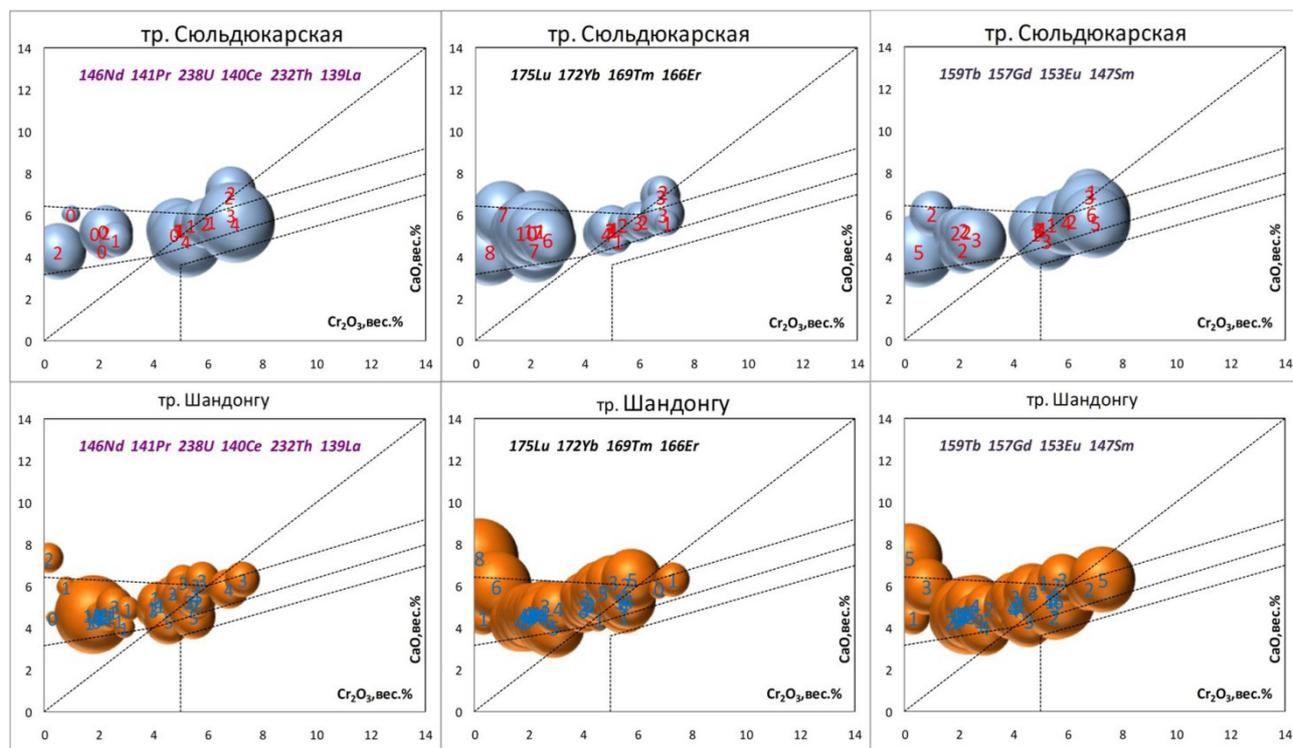


Рис. 5. Пузырьковые диаграммы концентраций РЗЭ (в ppm, сверху – вниз: легких, тяжелых, средних РЗЭ) в пиропе на диаграмме Н. В. Соболева.

### Заключение

Составы выборок пиропов из алмазных (трубка Селюдюкарская) и убого алмазных кимберлитов (трубка Шандонгу) с одинаковыми трендами распределения  $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$  в области лерцо-

литовых и алмазных дунит-гарцбургитовых парагенезисов, которые отражаются на основной диаграмме Н. В. Соболева, четко отличаются по содержанию окиси марганца и магния. Для алмазных кимберлитов характерны составы пиропов

лерцолитовых парагенезисов с повышенными значениями окиси марганца более 0,4 мас. % и пониженными значениями окиси магния менее 20 мас. %.

Полная выборка зерен пиропы ультраосновных парагенезисов для высоко алмазоносных кимберлитовых тел проектируется на бинарную диаграмму MgO–MnO в определенную кластерную область. Определенная методом подбора кластерная область на этой бинарной диаграмме характерна для большинства промышленных месторождений кимберлитов ЯАП [5]. Эту область составов можно характеризовать как температурную «мишень», в центр пересечения которой проектируются составы пиропов исключительно из продуктивных кимберлитов. Можно предположить, что составы пиропов с такими содержаниями магния и марганца происходят из мантийных пород благоприятных по РТ параметрам для кристаллизации в них алмазов.

Редкоземельные элементы (легкие, тяжелые и средние) неравномерно накапливаются в составах пиропов из алмазоносного кимберлита трубки Сюльдюкарская и неалмазоносного кимберлита трубки Шандонгу. Повышенная концентрация легких РЗЭ в алмазоносной трубке Сюльдюкарская приходится на высокохромистые зерна пиропов до 4 ppm, а в низкохромистой области составов пиропов содержание РЗЭ менее 2 ppm. Для неалмазоносного кимберлита трубки Шандонгу концентрация легких РЗЭ в низкохромистых зернах пиропов более 10 ppm, в высокохромистых пиропов в два раза меньше.

Тяжелые РЗЭ концентрируются в алмазоносных кимберлитах в большей степени в низкохромистых

зернах пиропов эклогит-вебстеритовой ассоциации до 8 ppm, а в высокохромистой содержание легких РЗЭ в два раза меньше. Для пиропов из неалмазоносного кимберлита такое различие слабо выражено. Средние по весу РЗЭ равномерно концентрируются в зернах с разной градацией по хромю в алмазоносных и не алмазоносных кимберлитах. Пузырьковые диаграммы увеличивают информативность диаграммы Н. В. Соболева, при этом, на графике показывается дополнительная информация по различиям пиропов из алмазоносных и неалмазоносных кимберлитов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев, Н. В. О минералогических критериях алмазоносности кимберлитов / Н. В. Соболев // Геология и геофизика. – 1971. – №3. – С. 70–80
2. Геохимические особенности составов минералов новой кимберлитовой трубки Шандонгу (Ангола) / Т. М. Вунда [и др.] // Международная научно-практическая конференция. Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. – Судакские геологические чтения. – 2013. – IV (IX), – С. 14–16.
3. Ellis, D. J. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria / D. J. Ellis, D. H. Green // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1979. – V. 71. – P. 13–22.
4. Dawson, J. B. Statistical classification of garnets from kimberlites and xenoliths / J. B. Dawson, W. E. Stephens // J. Geol. – 1975. – V. 83. – № 5. – P. 589–607.
5. Иванов, А. С. Новый критерий алмазоносности кимберлитов / А. С. Иванов // Труды XII Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской сессии. – Апатиты: КНЦ РАН. – 2015. – С. 268–270.

Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный

Иванов Александр Сергеевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник  
E-mail: IvanovAS@alrosa.ru  
Тел.: +7 (41136) 45718

Спецус Здислав Витольдович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник  
E-mail: Spetsiuszv@alrosa.ru  
Тел.: +7 (41136) 45771

Толстов Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, директор  
E-mail: TolstovAV@alrosa.ru  
Тел.: +7 (41136) 45718

ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск  
Ащепков Игорь Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник  
E-mail: igor.ashchepkov@igm.nsc.ru  
Тел.: +7 (383) 3332600

Scientific-research geological enterprise (NIGP) AK ALROSA (PAO), Mirny

Ivanov A. S., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher, leading researcher  
E-mail: IvanovAS@alrosa.ru  
Tel.: +7 (41136) 45718

Spetsius Z. V., doctor of Geological and Mineralogical Sciences, chief researcher  
E-mail: Spetsiuszv@alrosa.ru  
Tel.: +7 (41136) 45771

Tolstov A. V., doctor of Geological and Mineralogical Sciences, director  
E-mail: TolstovAV@alrosa.ru  
Tel.: +7 (41136) 45718

S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk  
Ashchepkov I. V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher  
E-mail: igor.ashchepkov@igm.nsc.ru  
Tel.: +7 (383) 3332600