

УДК 550.84; 549.746.5: 553.8

## ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОД ХОМПУ-МАЙСКОГО ПОЛЯ

**Н. А. Опарин, О. Б. Олейников, Н. В. Заякина**

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,  
677007, г. Якутск, пр. Ленина, д. 39

**Аннотация.** Статья посвящена изучению минерального состава кимберлитовых пород трубки Манчары и аномалии Thm-10-11 Хомпу-Майского поля, единственного в пределах Алданской антеклизы. Породы представлены в различной степени карбонатизированными кимберлитовой брекчией и порфировым кимберлитом. В данной работе был применен метод полуколичественного рентгенофазового анализа, который позволил проследить изменение минерального состава с глубиной в пределах каждого тела и оценить роль постмагматической карбонатизации и гипергенных изменений. Использование данного метода обеспечило диагностику в дезинтегрированной кимберлитовой брекчии трубки Манчары редкого магнезиально-железистого водного карбоната - колингита  $Mg_{10}Fe_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2H_2O$ . Он установлен в ассоциации с lizardитом, хризотилом и бруситом, то есть в своем типичном парагенезисе, характерном и для кимберлитов.

**Ключевые слова:** кальцит, доломит, сидерит, рентгенофазовый анализ, анатаз, кимберлит, Хомпу-Майское поле, Якутия.

## THE FEATURES OF KIMBERLITE ROCKS MINERAL COMPOSITION OF KHOMPU-MAYSKOE FIELD

**N.A. Oparin, O.B. Oleinikov, N.V. Zayakina**

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy  
of Science, Lenin Avenue 39, 677980 Yakutsk, Russia

**Abstract.** The article covers the study of kimberlite rocks mineral composition of Manchary pipe and Thm-10-11 anomaly of Khompu-Mayskoe field, only within the Aldan antecline. Rocks are represented by carbonated kimberlite breccia and porphyritic kimberlite with varying intensity. In this article we applied the method of semiquantitative X-ray analysis, which allowed to track changes in the mineral composition with depth within each object and assess the role of post-magmatic carbonation and supergene changes. Using of this method provided the diagnostic allowed to intensity rare magnesium-ferrous hydrated carbonate –

*coalingite* ( $Mg_{10}Fe_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2H_2O$ ) in disintegrated kimberlite breccia from the Manchary pipe. It is obtained in an association with lizardite, chrysotile and brucite, which is typical paragenesis for this mineral, and also characteristic for kimberlites.

**Key words:** calcite, dolomite, siderite, X-ray analysis, anatase, kimberlite, Khompu-Mayское, Yakutia.

Хомпу-Майское кимберлитовое поле (рис. 1) находится в северной части Алданской антеклизы и территориально расположено в бассейне р.Тамма в 100 км южнее г. Якутска. В результате геофизических и буровых работ Ботуобинской и Арктической ГРЭ АК «АЛРОСА» в 2011-2012 гг. в районе Хомпу-Майского поля были вскрыты новая кимберлитовая аномалия Тhm-10-11 и переопробована трубка Манчары. Все они прорывают карбонатные отложения верхнего кембрия и перекрыты юрскими терригенными осадками мощностью 100-150 м [3].



**Рис. 1.** Геологическое положение Хомпу-Майского кимберлитового поля

Исследование пород этих трубочных тел показало, что они представлены кимберлитовой брекчией (трубка Манчары) и порфировым кимберлитом с минимальным содержанием обломков осадочных пород и включений серпентинитов (аномалия Тhm-10-11). Первичный вещественный состав кимберлитовых брекчий и порфировых кимберлитов этих тел, несмотря на текстурные различия однотипен. Основными компонентами пород являются ксенолиты серпентинитов, псевдомор-

фозы серпентина по макро-, мегакристаллам и вкрапленникам оливина. Основная масса наименее измененных кимберлитов этих тел сложена флогопитом, серпентинитом, кальцитом, перовскитом, апатитом, минералами переменного состава магнетит-хромшпинелид и андрадит-шорломит.

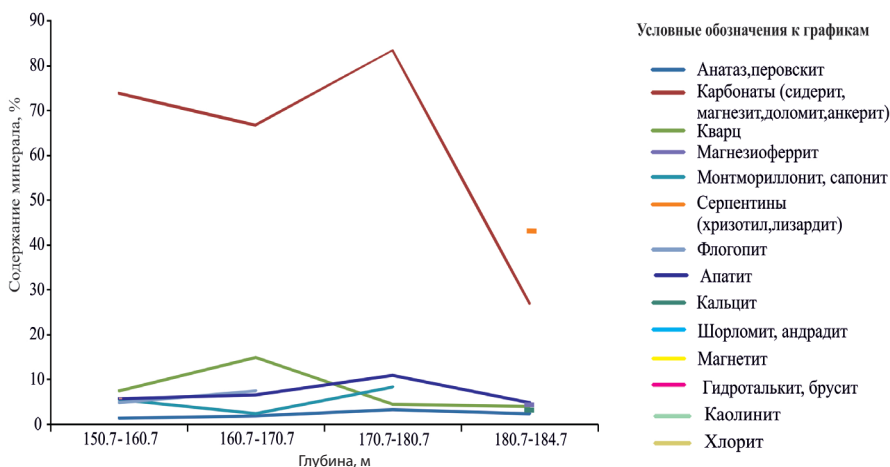
Для пород всех тел характерна различная по интенсивности наложенная карбонатизация. Для оценки роли постмагматической карбонатизации и гипергенных изменений минерального состава пород с глубиной использован метод полуколичественного рентгенофазового анализа [2].

Изучение минерального полуколичественного состава пород проводилось методом рентгенофазового анализа на дифрактометре D2 PHASER (фирма «Bruker»). Съемка порошковых образцов выполнялась на  $\text{Cu K}_\alpha$  излучении, напряжении трубки 30 кВ и силе тока 10 мА в интервале  $4 - 65^\circ (2\theta)$ . Контроль работы дифрактометра осуществлялся по съемке стандартного (NIST) образца корунда. Диагностика минералов и полуколичественный анализ минерального состава кимберлитов проводились с использованием поставленных с прибором программ и базы данных PDF – 2 с учетом петрографического и химического состава пород. При данном методе исследования, минералы, присутствующие в малых количествах (меньше 1-2 мас. %) и плохо окристаллизованные в сложной полиминеральной смеси, могут быть не выявлены. Минералогические виды, приведенные по минералам-стандартам не всегда можно отождествлять с формулами реально присутствующих в пробе минералов, поскольку возможные изоморфные замещения могут не приводить к существенным изменениям метрики элементарной ячейки.

Определение слоистых силикатов в полиминеральных порошковых пробах затруднено, поэтому в ряде случаев дополнительно проводили съемку препаратов, насыщенных этиленгликолем. Насыщение этиленгликолем проведено для образцов с хорошо проявленным отражением порядка  $14 \text{ \AA}$ . В результате, в ряде образцов удалось подтвердить наличие минералов из группы смектита (сапонит, монтмориллонит).

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа проб порфирирового кимберлита аномалии Thm-10-11 (рис. 2), вскрытой до глубины 184,7 м, показывают, что в интервале 0-30 м от поверхности тела породы подверглись гипергенному изменению и интенсивной наложенной карбонатизации. В результате, суммарное количество карбонатов в измененной кимберлитовой брекчии составляет от 67 до 74 мас. %, а доля монтмориллонита варьирует от 2 до 8 мас. %. Сложные изоморфные взаимоотношения Ca, Fe и Mg в карбонатах отражаются в результатах анализа, которыми зафиксировано присутствие доломита, магнезита, сидерита и магнезильного кальцита. В тоже время в породе из керна самого глубокого интервала (180,7-184,7 м) присутствуют кальцит (3 мас. %), который не установлен в кимберлите верхних горизонтов, и доломит (27 мас. %), но не установлены железосодержащие разновидности карбонатов. Флогопит не определен только в наиболее карбонатизированных породах, в которых количество карбонатных минералов превышает 70 мас. %. Апатит присутствует постоянно не зависимо от степени изменения породы (от 5 до

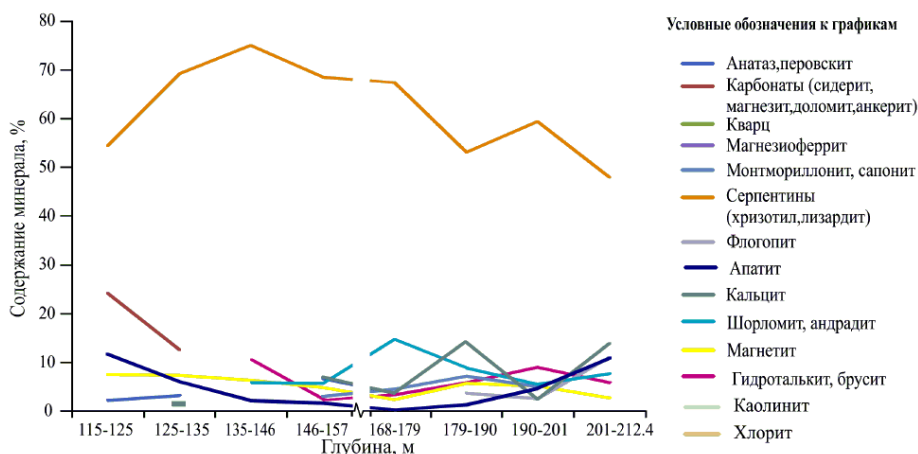
11 мас. %). Перовскит в породе замещен микрозернистым агрегатом анатаза (от 1 до 3 мас. %). Магнезиоферрит (4 мас. %) и хризотил (43 мас. %) установлены только в наименее карбонатизированном кимберлите наиболее глубинного интервала опробования трубки. Такая особенность позволяет предположить, что данные минералы могут являться источником FeO и частично MgO для карбонатов в карбонатизированном кимберлите. О чем косвенно свидетельствует постоянное присутствие в породе ксеноморфных микрозерен кварца (от 4 до 15 мас. %).



**Рис. 2.** График распределения минералов кимберлитовой брекчии аномалии Thm-10-11 по глубине

Рентгенофазовое изучение проб кимберлитовой брекчии трубки Манчары (рис. 3), вскрытой до глубины 212,4 м показало, что породы до глубины 130 м подверглись наложенной карбонатизации. В кимберлитовой брекчии появляется только доломит в количестве 14–24 мас. %. В пробах, отобранных из более глубинных интервалов (130–212,4 м), в основном присутствует кальцит, количество которого изменяется от 0 до 14 мас. %. Породы кимберлитовой трубки Манчары подверглись незначительному гипергенному изменению. Об этом свидетельствует присутствие в недоломитизированном кимберлите монтмориллонита (от 3 до 7 мас. %). Максимальное количество флогопита (11 мас. %) установлено в наименее измененных породах, которые присутствуют на максимально вскрытой глубине трубки (212,4 м). В тех случаях, когда доля серпентиновых минералов составляет 67–75 мас. %, флогопит не фиксируется, а когда количество хризотила и лизардита составляет 48–59 мас. %, он присутствует в значимых количествах. Следовательно, по крайней мере, часть серпентиновых минералов основной массы имеет более позднюю наложенную природу. Неизменный перовскит появляется в породе с глубины 42 м (до 7 мас. %). На более высоких уровнях он замещен микрозернистым агрегатом анатаза. С глубины 130 м в кимберлитовой брекчии постоянно присутствует постмагматический гранат

ряда андрадит-шорломит (от 6 до 15 мас. %). Постмагматический магнетит установлен на всех уровнях, но его максимальные содержания (до 8 мас. %) выявлены, в интервале от 0 до 130 м, то есть в наиболее карбонатизированных породах.



**Рис. 3.** График распределения минералов кимберлитовой брекчии тр. Манчары (скв. 704) по глубине

Полученные в результате рентгенофазового изучения минеральные составы пород согласуются с данными химических анализов (табл. 1). Так в порфировом кимберлите аномалии Thm-10-11 верхних (табл. 1, обр. 2) горизонтов наблюдается увеличение содержаний  $\text{CO}_2$ , которое проявляется в присутствии в породе большого количества вторичных карбонатов – доломита, сидерита и магнезита (до 74 мас. %). Следует отметить, что в наименее измененной породе (табл. 1, обр. 4) наблюдается превышение концентраций  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  над  $\text{FeO}$ , а до глубины 180,7 м в карбонатизированном порфировом кимберлите содержание  $\text{FeO}$  преобладает над количеством  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (табл. 1, обр. 1, 2, 3), что говорит об обогащении породы железосодержащим карбонатом сидеритом.

Таблица 1

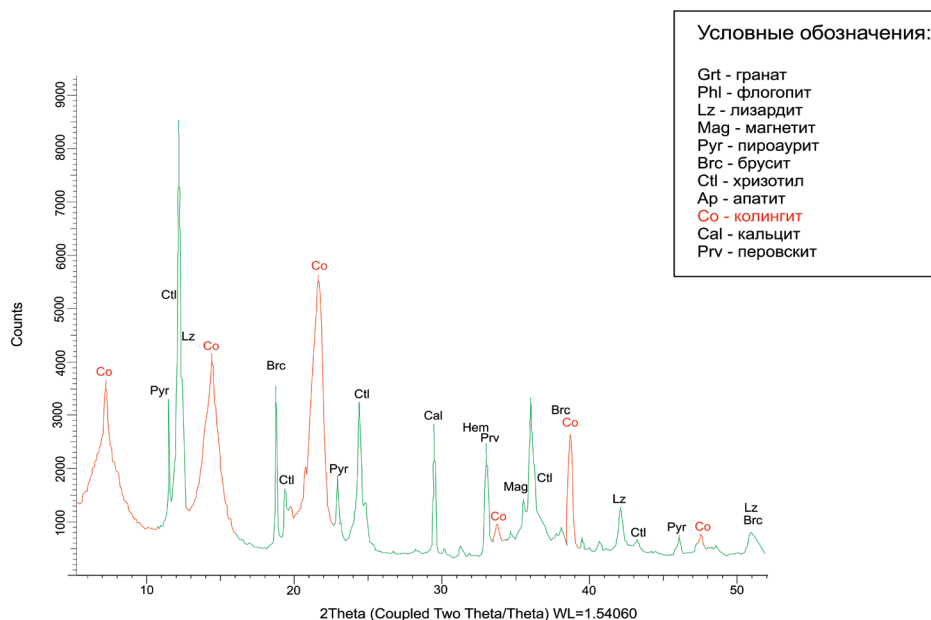
**Химический состав кимберлитовой брекчии тр. Манчары и ан. Thm-10-11, мас. %**

№ образца	Аномалия Thm-10-11				Тр. Манчары, скв. 704			
	1	2	3	4	5	6	7	8
глубина, м	150,7– 160,7	160,7– 170,7	170,7– 180,7	180,7– 184,7	115 – 125	125 – 135	168 – 179	201 – 212,4
$\text{SiO}_2$	9,1	16,42	7,63	25,97	18,55	27,62	28,41	24,55
$\text{TiO}_2$	2,52	2,3	2,73	2,07	2,4	3,52	3,19	2,92

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,51	2,08	2,57	1,36	1,17	1,85	1,75	2,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	0,69	0,87	5,78	12,6	6,64	9,1	6,78
FeO	7,72	11,2	8,66	2,53	4,71	2,24	1,36	2,61
MnO	0,12	0,11	0,11	0,1	0,13	0,14	0,15	0,12
MgO	15,28	12,41	10,5	26,01	20,26	31,11	29,03	25,94
CaO	23,91	19,14	27,94	12,05	16,17	6,91	11,53	14,85
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,03	0,03	0,67	0,03	1,75	0,39	0,7
K <sub>2</sub> O	0,36	0,3	0,07	0,54	0,01	0,16	0,2	0,39
H <sub>2</sub> O-	1,34	0,97	1,42	1,33	0,72	0,47	0,82	0,76
H <sub>2</sub> O+	2,88	2,61	2,65	6,5	6,82	9,45	11,83	9,71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,65	1,54	1,58	1,07	4,58	1,27	0,15	3,59
CO <sub>2</sub>	32,05	27,98	31,84	14,78	11,84	6,9	2,47	5,13
Li <sub>2</sub> O	0,0181	0,0143	0,0077	0,0304	0,0107	0,0108	0,0004	0,0007
Rb <sub>2</sub> O	0,002	0,003	0,001	0,0041	0	0,001	0,001	0,003
S	0,02	0,15	0,23	0,21	0,3	0,26	0,24	0,13
F	0,26	0,38	0,26	0,3	0,34	0,25	0,09	0,3
Сумма	100,12	99,64	99,75	99,84	99,78	99,98	99,87	99,8

Кимберлитовая брекчия трубки Манчары интервала 115-125 м содержит такие карбонатные минералы, как сидерит, магнезит и доломит (до 25 мас. %), и как следствие для нее характерны высокие содержания CO<sub>2</sub> до 12 мас. % и пониженные SiO<sub>2</sub> до 18,55 мас. % (табл. 1, обр. 5), а с глубиной наблюдается снижение количества углекислоты. Кроме того, в этом интервале наблюдается повышенное содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 12,6 мас. %), которое связано с присутствием в мезостазице губчатых агрегатов магнетита.

Одной из двух скважин на глубине 50–80 м от поверхности трубки Манчары вскрыты участки дезинтегрированного кимберлита, который представляет собой смесь разноразмерных фрагментов крупнопорфировой кимберлитовой брекчии, мелкозернистой и глиноподобной массы. При изучении данного рыхлого агрегата измененной породы методом рентгенофазового анализа был установлено, что во всех исследованных образцах основным компонентом является смесь минералов из группы серпентина (лизардит, хризотил). Кроме того, в кимберлитовой брекчии в разных количествах присутствуют первичные и постмагматические минералы: флогопит, перовскит, апатит, кальцит, магнетит, гетит, гранаты андрадитового ряда, доломит, сидерит, гидроталькит, пирроаурит, брусит, хлорит и минералы из группы смектитов. Наиболее характерная рентгенограмма дезинтегрированного кимберлита представлены на рис. 4.



**Рис. 4.** Дифрактограмма препарата дезинтегрированной кимберлитовой брекчи с колингитом

Отличительной особенностью минерального состава данных образцов является выявление в них редкого магниезильно-железистого водного карбоната колингита (рис. 4), количество которого меняется от 3 до 16 мас. % (табл. 2).

Таблица 2

**Химический состав кимберлитовой брекчи и количество колингита в образцах из трубки Манчары, мас. %**

Компонент	Образец			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	28.57	23.51	28.68	30.2
TiO <sub>2</sub>	3.7	0.12	3.81	3.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.77	0.89	2.59	1.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.64	11.44	7.54	6.54
FeO	2.09	1.33	1.68	2.01
MnO	0.14	0.3	0.1	0.07
MgO	31.8	36.9	28.25	33.46
CaO	8.37	5.39	12.57	7.08
Na <sub>2</sub> O	0.89	0.89	0.18	0.2
K <sub>2</sub> O	0.51	0.05	0.42	0.13
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	12.08	15.12	11.25	12.79

PPP	0.03	0.86	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.08	0.24	2.48	0.32
CO <sub>2</sub>	0	2.22	0.54	1.66
Li <sub>2</sub> O	0	0.0007	0	0
Rb <sub>2</sub> O	0.002	0.001	0.003	0
S	0	0.06	0.11	0.1
F	0.37	0.25	0.3	0.09
-O=F2	-0.16	-0.11	-0.13	-0.04
Сумма	99.89	99.47	100.4	100.04
Количество колингита	нет	16	3	4

1 – монолитная кимберлитовая брекчия, валовая проба, интервал 40–50 м;  
 2 – дезинтегрированная кимберлитовая брекчия, фракция -0.09 мм, интервал 50–60 м;  
 3 – дезинтегрированная кимберлитовая брекчия, валовая проба, интервал 60–70 м; 4 – дезинтегрированная кимберлитовая брекчия, валовая проба, интервал 70–80 м.

Результаты детального изучения колингита и определения его химического состава на электронном сканирующем микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford на выделенном единичном кристалле представлены в работе [1].

Следует отметить, что в кимберлитовых породах не было ранее выявлено подобных карбонатов и большинство находок колингита сделано в корах выветривания по серпентинитам, где он образуется по бруситу. В то же время парагенезис минерала в кимберлитовой брекчии трубки Манчары находится в полном соответствии с его типичной ассоциацией, характерной для серпентинитовых пород (хризотил, лизардит и брусит), претерпевших стадию гипергенного преобразования.

Так как участки дезинтегрированной кимберлитовой брекчии находятся на глубине не менее 50 м от поверхности трубки, можно предположить, что образование колингита непосредственно не связано с поверхностными корами выветривания. Кроме того, колингит содержащая порода вскрыта только одной из двух скважин. Поэтому появление водного карбоната можно связать с взаимодействием подземных межпластовых вод, циркулировавших в пределах трубки по вертикальной или наклонной зоне тектонических нарушений, с дезинтегрированной в результате динамического воздействия породой [1].

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа проб кимберлитовых пород аномалий Thm-10-11 и кимберлитовой трубки Манчары показывают, что в целом для них характерен однотипный состав, а некоторые отличия обусловлены различиями в интенсивности проявления поздне-, постмагматических и гипергенных процессов в пределах каждого кимберлитового тела. В тоже время можно констатировать, что породы этих тел генетически взаимосвязаны и сформированы однотипным кимберлитовым субстратом. Таким образом, данные полуколичествен-



ного рентгенофазового анализа кимберлитовых пород Хомпу-Майского поля позволили оценить не только минеральные особенности пород, но масштабы постмагматических и гипергенных процессов, обусловивших формирование окончательного минералогического состава кимберлитов [2].

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят сотрудников ИГАБМ СО РАН Тронину Т.Ф. и Васильеву Т.И. за помощь в проведении рентгенографического анализа образцов, Галенчикову Л.Т. – за выполнение химических анализов, Попову С.К. – за исследование образцов на сканирующем электронном микроскопе.

## Литература

1. Заякина, Н.В., Олейников, О. Б., Васильева, Т. И., Опарин, Н. А. Колингит – редкий магнезиально-железистый водный карбонат из кимберлитовой брекчии трубки Манчары» (Центральная Якутия, Россия) // Записки РМО. – 2014. – № 6. – С. 100-107.

2. Опарин, Н. А., Олейников, О.Б., Заякина, Н.В. Особенности состава кимберлитов Хомпу-Майского поля по результатам полуколичественного рентгенофазового анализа // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России : материалы Всероссийской научно-практической конференции, 1-3 апреля 2014 г. – Якутск : Изд-во СВФУ, 2014. – С. 341-345.

3. Смелов, А. П., Андреев, А. П., Алтухова, З. А., Бабушкина, С. А., Бекренев, К. А., Зайцев, А. И., Избеков, Э. Д., Королева, О.В., Мишнин, В.М., Округин, А.В., Сурнин, А. А. Кимберлиты трубки Манчары: новое кимберлитовое поле Центральной Якутии // Геол. и геофиз. – 2010. – № 1. – С. 153-159.

## References

1. Zajakina, N.V., Olejnikov, O.B., Vasil'eva, T.I., Oparin, N.A. Kollingit – redkij magnezial'no-zhelezistyj vodnyj karbonat iz kimberlitovoj brekchii trubki «Manchary» (Central'naja Jakutija, Rossija) // Zapiski RMO. – 2014. – № 6. – С. 100-107.

2. Oparin, N. A., Olejnikov, O.B., Zajakina, N.V. Osobennosti sostava kimberlitov Khompu-Majjskogo polja po rezul'tatam polukolichestvennogo rentgenofazovogo analiza // Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy Vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii, 1-3 aprelja 2014 g. – Jakutsk : Izd-vo SVFU, 2014. – S. 341-345.

3. Smelov, A. P., Andreev, A. P., Altukhova, Z. A., Babushkina, S. A., Bekrenev, K. A., Zajjcev, A. I., Izbekov, Eh. D., Koroleva, O.V., Mishnin, V.M., Okrugin, A.V., Surnin, A. A. Kimberlity trubki Manchary: novoe kimberlitovoe pole central'noj Jakutii // Geol. i geofiz. – 2010. – № 1. – S. 153-159.