

Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Хомпу-Майского поля (Центральная Якутия)

Н. А. Опарин✉, О. Б. Олейников

Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация
✉nik3256-1989@yandex.ru

Аннотация

Приведены результаты петрохимических и геохимических исследований кимберлитов трубок Хомпу-Майского поля (Центральная Якутия) и сравнение их микроэлементного состава с аналогами кимберлитовых провинций Якутской (Россия) и Кимберли (ЮАР). Представлены петрографический состав и результаты постмагматической карбонатизации кимберлитов трубок Манчары, им. А.П. Смелова и Дабан. В обобщенной модели верхней части трубок выделены три условных горизонта: нижний, сложенный наименее измененными породами; средний, кимберлитовые породы которого фрагментированы в результате процессов карбонатизации; верхний, выполненный интенсивно карбонатизированными породами с утраченными текстурно-структурными признаками. Полученные данные химического и микроэлементного составов пород трубок Хомпу-Майского поля отражают их вещественную специфику, предполагающую схожие условия формирования кимберлитов Центральной Якутии и Южной Африки.

Ключевые слова: кимберлит, трубка, карбонатизация, редкоземельные элементы, Хомпу-Майское поле

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИР ИГАБМ СО РАН.

Для цитирования: Опарин Н.А., Олейников О.Б. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Хомпу-Майского поля (Центральная Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(4):486–498. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-486-498>

The geology and composition of the Khompu-May field kimberlite pipes (Central Yakutia, Russia)

N. A. Oparin✉, O. B. Oleinikov

*Diamond and Precious Metal Geology Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*
✉nik3256-1989@yandex.ru

Abstract

The paper presents the results of petro- and geochemical studies of the kimberlite pipes within the Khompu-May field (Central Yakutia). Their trace element data were compared with the analogues from the Yakut Kimberlite Province, Russia and the Kimberly Kimberlite Province, RSA. We present the data on petrographic composition and results of postmagmatic carbonation of the Manchary, A.P. Smelov, and Daban pipes kimberlites. The generalized model of the upper parts of the pipes show three conventional horizons: the lower horizon of least altered rocks, the middle horizon of fragments of kimberlite carbonates, and the upper horizon of intensely carbonated rocks without recognizable textural and structural characteristics. The obtained data on chemical and trace element compositions of rocks from pipes of the Khompu-May field reflect their material specificity, suggesting similar conditions for formation of kimberlites in Central Yakutia and South Africa.

Keywords: kimberlite, pipe, carbonation, rare earth elements, Khompu-May field

Funding. This study was carried out within the Research Project of the DPMGI SB RAS.

For citation: Oparin N.A., Oleinikov O.B. The geology and composition of the Khompu-May field kimberlite pipes (Central Yakutia, Russia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022;27(4):486–498. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-4-486-498>

Введение

Хомпу-Майское кимберлитовое поле расположено в северной части Алданской антеклизы и включает восемь малоизученных трубок. К настоящему времени имеются неоднозначные данные по возрасту этих пород [1–3], частично охарактеризована их минералогия [4–12]. Неосвоенными остаются вертикальное строение диатрем, петрография и геохимическая характеристика слагающих их пород. В настоящей работе рассматриваются изменения петрографического, химического и особенности микроэлементного состава порфировых кимберлитов и кимберлитовых брекчий трубок Манчары, Дабан и им. А.П. Смелова, предложена обобщенная модель строения верхних горизонтов этих тел.

Геологическое строение кимберлитовых тел

Трубки Хомпу-Майского кимберлитового поля прорывают карбонатные породы среднего кембрия и перекрыты юрскими терригенными толщами мощностью от 100 до 150 м (рис. 1) [13]. Полученные ранее Rb–Sr-датировки показывают, что трубки Манчары (358 ± 50 млн лет) и им. Артемова (341–351 млн лет) относятся к алмазносной среднепалеозойской эпохе кимберлитобразования [1, 2]. В то же время при U–Pb-датировании перовскита и апатита для трубки Манчары был получен раннепалеозойский возраст 425–431 млн лет [3]. Такие расхождения в значениях требуют проведения специализированных дополнительных определений. В пределах поля нами выделяются два куста кимберлитовых тел. Трубка Манчары находится в Хомпу-Майском кусте, а им. А.П. Смелова и Дабан – в Барылайском (см. рис. 1). Поскольку расстояние между трубками в пределах одного куста составляет от 4 до 17 км, а между ближайшими трубками разных кустов – 24 км и состав пород диатрем во многом однотипен, представляется, что они образуют единое поле.

В то же время И.Л. Махоткин с соавторами в Центральной Якутии выделяют Менда-Барылайский алмазносный район, включающий два кимберлитовых поля – Хомпу-Майское (трубки Манчары, Турахская, им. Артемова, Эрэл и аномалия Тһт-53-11) и Атырдахское (трубки Апрельская, Дабан, Атырдах и им. А.П. Смелова) [3].

В плане диатремы имеют форму овала. Максимальный размер имеет трубка Манчары – 250×300 м, для которой, как и для трубки им. А.П. Смелова, скважинами определена воронко-

образная форма, а для трубки Дабан – грибовидная [14].

Диатремы сложены либо порфировым кимберлитом, либо порфировым кимберлитом и кимберлитовой брекчией [15, 16]. Согласно классификации Б. Скотт-Смит с соавторами [17], эти два типа пород являются, соответственно, когерентным и вулканокластическим кимберлитом. Между этими породами существуют постепенные переходы, а магматические контакты отсутствуют. Трубки вскрыты на различную глубину: трубка Манчары изучена до 120 м, трубка им. А.П. Смелова – до 200, а трубка Дабан – до 90 м.

В ходе исследования установлено, что породы трубки Манчары содержат наименьшее количество ксенолитов осадочных пород (до 10 %) и представлены порфировым кимберлитом [16]. В строении трубок Дабан и им. А.П. Смелова принимают участие как порфировый кимберлит, так и кимберлитовая брекчия, количество ксенолитов в которых изменяется от 10 до 40 % соответственно. Основываясь на петрографических особенностях кимберлитов и их вторичных преобразованиях, в строении трубок мы выделили до трех условных горизонтов (нижний, средний и верхний) (рис. 2), мощности которых для каждой конкретной трубки индивидуальны.

Нижние зоны трубок Манчары (100–120 м) и им. А.П. Смелова (175–200 м) сложены наименее измененными кимберлитовыми породами с серпентин-флогопит-карбонатным мезостазисом (рис. 2). Порфировая структура обусловлена присутствием в породе псевдоморфоз серпентина, содержание которых составляет 45–70 %. В кимберлите наблюдаются единичные макромегакристаллы пикроильменита, граната и флогопита. Мелкозернистый мезостазис выполнен преимущественно серпентином, ксеноморфными выделениями кальцита и пластинками слюды (рис. 3, а), представленной минералами ряда флогопит–киноситалит [12].

Для основной массы характерна неоднородная неравномерно-зернистая структура, обусловленная микроскоплениями разноразмерных зерен кальцита, которая позволяет предположить, что и на этих уровнях в породах произошли постмагматические изменения. В разрезе трубки Дабан, благодаря интенсивной карбонатизации, породы с серпентин-флогопит-карбонатным мезостазисом отсутствуют, поэтому в ее строении нижний горизонт до глубины 90 м не выделяется.

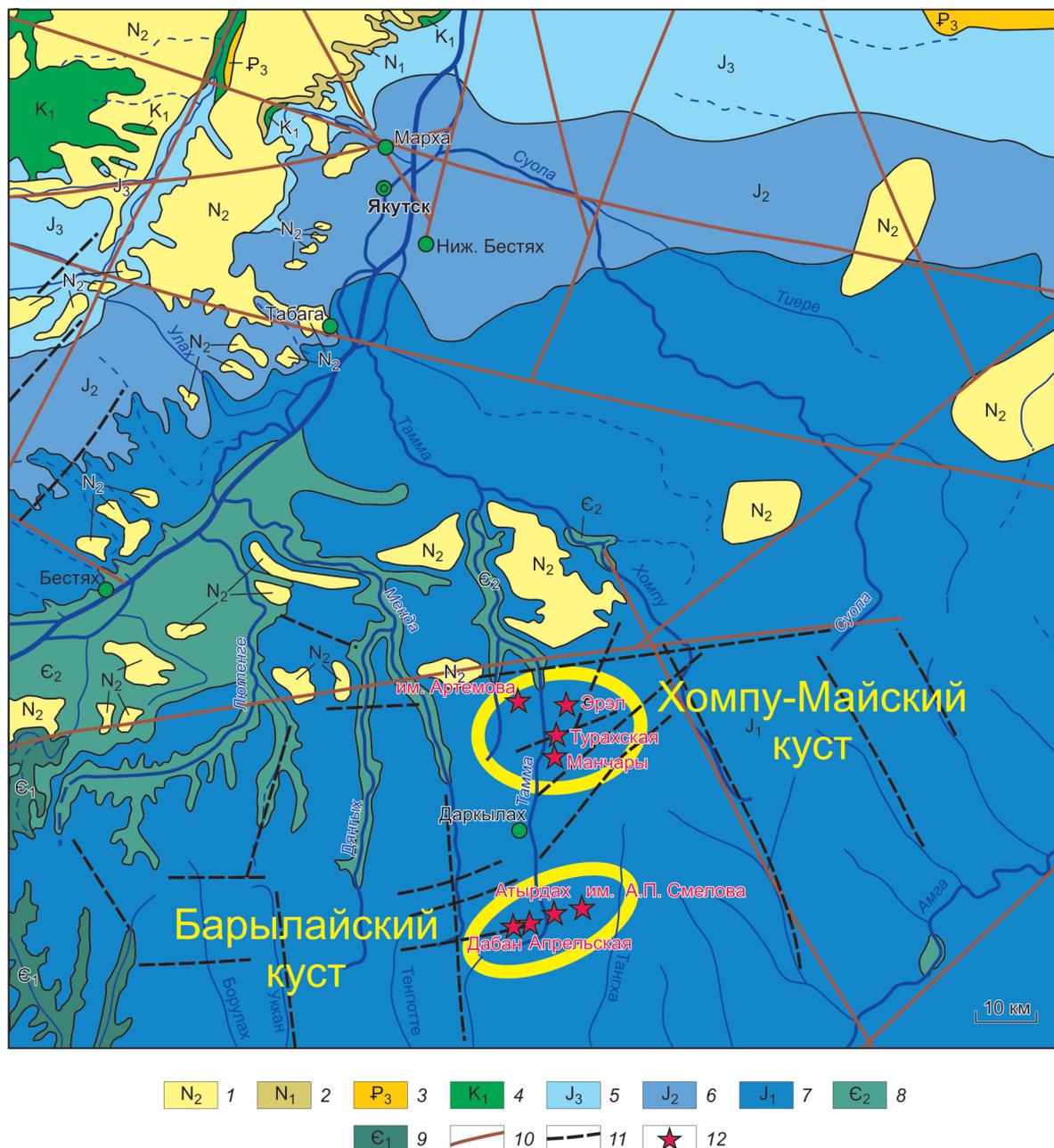


Рис. 1. Геологическая позиция Хомпу-Майского кимберлитового поля: 1 – верхний неоген, 2 – нижний неоген, 3 – верхний палеоген, 4 – нижний мел, 5 – верхняя юра, 6 – средняя юра, 7 – нижняя юра, 8 – средний кембрий, 9 – нижний кембрий, 10 – линейные элементы предположительно разломной природы, 11 – разломы неустановленной морфологии, 12 – кимберлитовые трубки.

Fig. 1. Geological position of the Khompu-May kimberlite field: 1 – Upper Neogene, 2 – Lower Neogene, 3 – Upper Palaeogene, 4 – Lower Cretaceous, 5 – Upper Jurassic, 6 – Middle Jurassic, 7 – Lower Jurassic, 8 – Middle Cambrian, 9 – Lower Cambrian, 10 – linear elements presumably caused by fault, 11 – faults of undefined morphology, 12 – kimberlite pipes.

В результате карбонатизации в пределах выделенных средних горизонтов (см. рис. 2) трубки Манчары (30–100 м) и им. А.П. Смелова (45–172 м) произошла переработка кимберлитового материала с появлением среди порфировых

кимберлитов и кимберлитовых брекчий блоков, в которых реликты кимберлитовых пород с серпентин-флогопит-карбонатным мезостазиом погружены в связующую массу серпентин-карбонатного состава. Форма фрагментов от неправиль-

ной до шарообразной, что делает их похожими на автолиты, обуславливая автолитоподобную текстуру (рис. 3, б). Мезостазис реликтов идентичен основной массе пород нижнего горизонта. В связующей массе наблюдается замещение серпентиновых псевдоморфоз кальцитом. Карбонат образует ксеноморфные, реже идиоморфные зерна размером до 120 мкм. Количество кальцита во фрагментированных породах увеличивается, что подтверждается результатами полуколичественного рентгенофазового анализа [18].

Отличительной особенностью мезостазаиса пород средних горизонтов трубки им. А.П. Смелова является присутствие доломита наряду с кальцитом в интервале глубин от 45 до 90 м. В трубке Дабан доломит также является преобладающим карбонатным минералом основной массы кимберлитов среднего горизонта (50–90 м). На этом уровне серпентиновые псевдоморфозы частично уничтожены процессом карбонатизации, в результате чего количество их реликтов составляет не более 10 %. Это приводит к тому, что порфиновая структура в породах трубки Дабан становится нечетко выраженной (рис. 3, з). Среди преимущественно доломитовой основной массы присутствуют фрагменты наименее измененного карбонат-флогопитового мезостазаиса размером до 7 см (рис. 3, в). Для таких участков характерна неоднородная неравномерно-зернистая структура, обусловленная характером распределения реликтов флогопита в разноразмерной карбонатной массе.

Брекчии и порфиновые кимберлиты верхних горизонтов трубок Манчары (0–30 м), им. А.П. Смелова (0–45 м) и Дабан (0–50 м) карбонатизированы вплоть до утери текстурно-структурных признаков (см. рис. 2). Для пород этих уровней исследуемых трубок характерны доломит, магнетит, сидерит и анкерит. Появление данных карбонатов связано с высвобождением магния и железа из силикатных и рудных минералов в результате карбонатизации кимберлитовых пород. Масштабы карбонатизации для каждой трубки индивидуальны. Наименее измененной является трубка Манчары, а наиболее масштабно такие процессы проявлены в породах, слагающих трубку Дабан.

Схожая особенность увеличения карбонатной составляющей установлена в кимберлитовых породах верхних горизонтов трубки Удачная [19]. Основная масса кимберлитовых брекчий на этих уровнях приобретает карбонатный и карбонат-

серпентиновый состав, что позволяет предположить универсальность проявления процессов постмагматической карбонатизации в верхних горизонтах трубок.

Ранее И.Л. Махоткиным с соавторами упоминалось участие в строении трубки им. А.П. Смелова «карбонатитовых кимберлитов» [3], а также наличие в ней, как и в трубке Манчары, нескольких фаз внедрения. Проведенные нами петрографические исследования не подтверждают присутствие «карбонатитовых кимберлитов» в строении данных тел. Не встречены какие-либо магматические контакты между породами в пределах трубок. Все изменения вещественного состава обусловлены процессами постмагматической карбонатизации, приведшими к фрагментации пород и уничтожению их первичных текстурно-структурных признаков.

Таким образом, вертикальное строение до глубины 200 м трубок Хомпу-Майского поля характеризуется однотипным первичным составом пород и процессами карбонатизации, которые в каждом теле имели разную степень интенсивности.

Петрохимическая характеристика кимберлитовых трубок

Петрохимическое исследование образцов кимберлитовых пород проводилось методом силикатного анализа в ИГАБМ СО РАН. Изменение состава кимберлитовых пород трубок Хомпу-Майского поля рассматривалось на диаграмме (рис. 4), предложенной А. Холмсом [20]. Так, фигуративные точки составов пород трубки Манчары и наименее измененных разностей пород трубки им. А.П. Смелова образуют единую область в пределах поля кимберлитов [15]. Фигуративные точки составов пород трубки Дабан попадают в поле карбонатитовых брекчий, что соответствует их карбонатизированному составу. В это поле попадает и часть фигуративных точек измененных разностей пород трубки им. А.П. Смелова (см. рис. 4). Наименее карбонатизированные породы трубки Манчары содержат минимальное количество углекислоты и, в целом, более высокие содержания оксидов титана и магния (табл. 1). Так, в породах с серпентин-флогопит-карбонатным мезостазаисом количество углекислоты варьирует от 0,27 до 1,64 %, а оксидов титана и магния – 3,74 и 30,51 % соответственно. Во фрагментированных породах трубки Манчары содержание CO₂ достигает 4,63 %, увеличиваясь до 11,84 % в породах с утраченными текстурно-структурными признаками. Для пород верхних

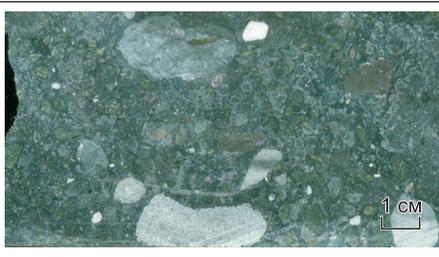
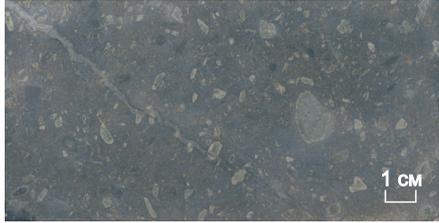
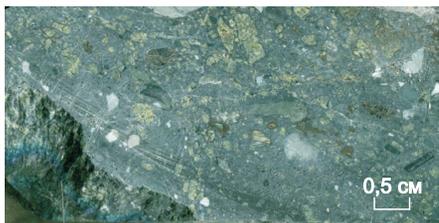
Трубка	Глубина, м	Керн кимберлитовых пород	Порода	Горизонт
Манчары	0–5		Карбонатизированный кимберлит с утраченными текстурно-структурными признаками	Верхний
им. А.П. Смелова	0–45			
Дабан	50–90		Крупнопорфировая карбонатизированная кимберлитовая брекчия с реликтами карбонат-слоудистого мезостазиса	Средний
им. А.П. Смелова	154–172		Кимберлитовая брекчия с автолитоподобной текстурой	
Манчары	100–120		Порфировый кимберлит с серпентин-флогопит-карбонатным мезостазисом	Нижний
им. А.П. Смелова	175–200		Кимберлитовая брекчия с серпентин-флогопит-карбонатным мезостазисом	

Рис. 2. Обобщенная петрографическая колонка кимберлитовых трубок Хомпу-Майского поля.

Fig. 2. Generalized petrography of the Khompu-May field kimberlite pipes.

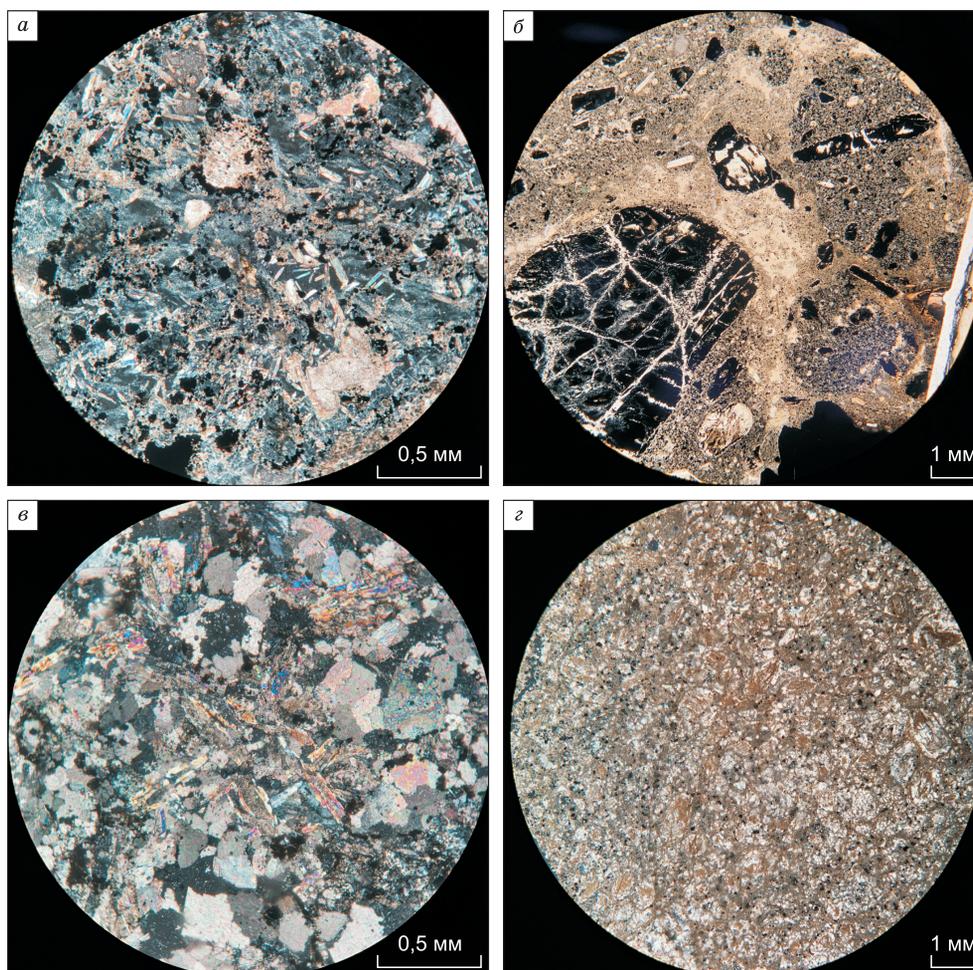


Рис. 3. Кимберлитовые породы Хомпу-Майского поля: *а* – серпентин-флогопит-карбонатный мезостази́с кимберлита с неравномерно-зернистой структурой, трубка Манчары, нижний горизонт, глубина 112,4 м, николи скрещены; *б* – автолитоподобная текстура кимберлитовой брекчии, трубка им. А.П. Смелова, средний горизонт, глубина 123 м, николи параллельны; *в* – карбонат-слюдистый мезостази́с с неравномерно-зернистой структурой кимберлита, трубка Дабан, средний горизонт, глубина 80 м, николи скрещены; *г* – мезостази́с интенсивно карбонатизированных пород с частично утраченными текстурно-структурными признаками, трубка Дабан, верхний горизонт, глубина 13 м, николи скрещены.

Fig. 3. Kimberlites of the Khompu-May field: *a* – serpentine-phlogopite-carbonate mesostasis of kimberlite with heterogeneous texture, the Manchary pipe, lower horizon, depth 112.4 m, crossed nicols; *б* – autolithic texture of kimberlite breccia, the A.P. Smelov pipe, middle horizon, depth 123 m, parallel nicols; *в* – carbonate-micaceous mesostasis with heterogeneous texture of kimberlite, the Daban pipe, middle horizon, depth 80 m, crossed nicols; *г* – mesostasis of intensely carbonated rocks without recognizable textural and structural characteristics, the Daban pipe, upper horizon, depth 13 m, crossed nicols.

горизонтов также характерно обеднение MgO до 20,26 %.

В наименее измененных породах нижних горизонтов трубки им. А.П. Смелова содержание углекислоты составляет 7,08 % (см. табл. 1), а TiO₂ и MgO – 1,86 и 31,8 %. На более высоких уровнях количество CO₂ в породах с автолитоподобной текстурой варьирует от 16,08 до 19,08 %, а в кимберлитах с утраченными текстурно-структурными признаками достигает 36,63 %. Количество MgO в породах с утраченными тек-

турно-структурными признаками наиболее низкое и составляет 10,26 %.

В кимберлитовых породах трубки Дабан, которая является наиболее карбонатизированной, количество CO₂ перманентно увеличивается от 33,15 % на нижних горизонтах до 39,14 % – на верхних (см. табл. 1). Количество MgO в породах этого тела вдвое меньше, чем в кимберлитах других исследуемых трубок.

В целом для изученных тел характерно увеличение содержания CO₂ в породах как с авто-

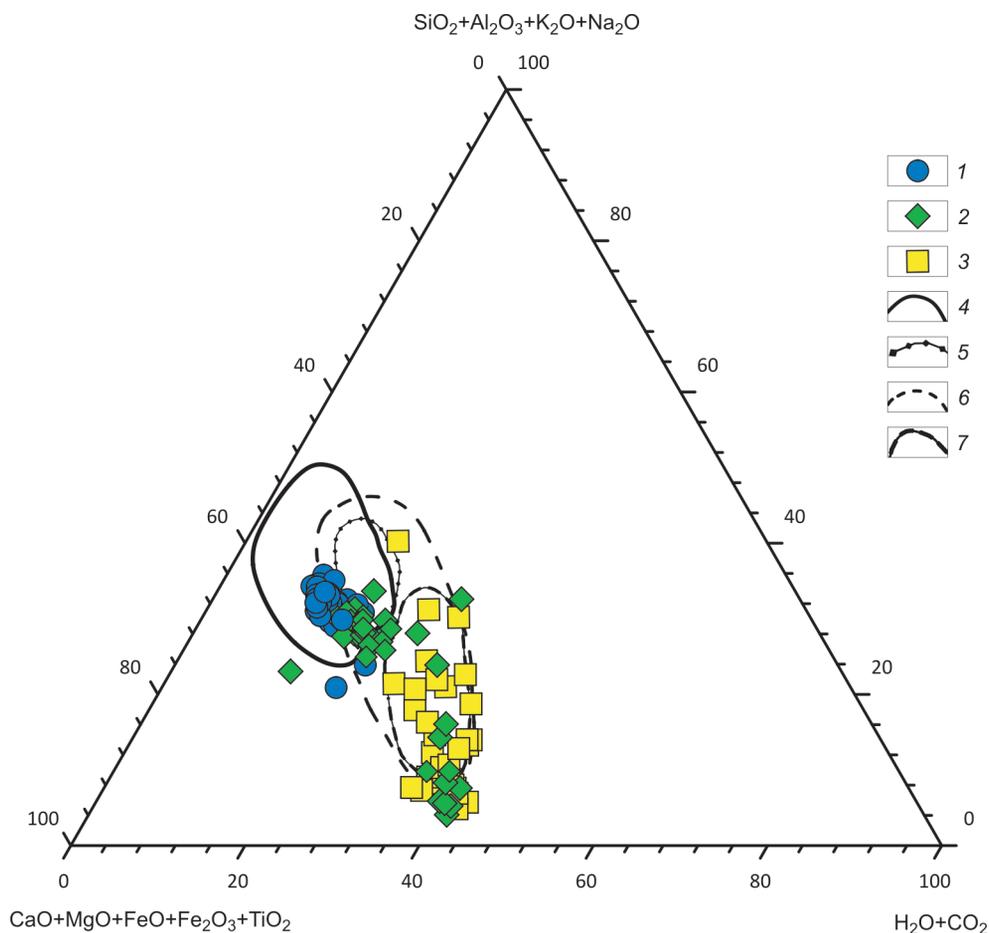


Рис. 4. Диаграмма петрогенетических взаимоотношений пород кимберлитовой формации [20]: 1 – трубка Манчары, 2 – трубка им. А.П. Смелова, 3 – трубка Дабан; поля: 4 – монтицеллитовые альцеиты [15], 5 – кимберлиты [15], 6 – кимберлитовые брекчии [15], 7 – карбонатитовые брекчии [15].

Fig. 4. Diagram of petrogenetic relationships between kimberlites [20]: 1 – the Manchary pipe, 2 – the A.P. Smelov pipe, 3 – the Daban pipe; fields: 4 – monticellite alceites [15], 5 – kimberlites [15], 6 – kimberlite breccias [15], 7 – carbonatite breccias [15].

литоподобной текстурой, так и с утраченными текстурно-структурными признаками, а также уменьшение количества оксидов титана и магния на близповерхностных уровнях (см. табл. 1).

Геохимическая характеристика кимберлитовых тел

Определение редких элементов в кимберлитах Хомпу-Майского поля проводилось в ООО «ХАЦ «Плазма» в г. Томск на масс-спектрометре ELAN (модель DRC-е, № W1520501). Исследовались породы с наименее измененным серпентинфлогопит-карбонатным мезостазисом: два образца из трубки Манчары и три образца из трубки им. А.П. Смелова. Кроме того, дополнительно изучены два образца из трубки им. Артемова, так как породы этого тела наименее карбонатизи-

рованы относительно остальных трубок Хомпу-Майского поля.

Все исследуемые образцы кимберлитов обогащены редкими элементами. Структуры *редкоземельных элементов*, нормированных по хондриту [21], продемонстрированы на рис. 5.

Общий рисунок спектров редких элементов сопоставим с таковыми кимберлитов группы I Южной Африки [22] (см. рис. 5, а). Во всех образцах наблюдается фракционирование легких редкоземельных элементов (LREE) относительно тяжелых (HREE). Наиболее высокими концентрациями РЗЭ характеризуются породы трубки им. А.П. Смелова, при этом сохраняя субпараллельную структуру распределения микроэлементов, в целом, типичную для всех исследуемых объектов.

Представительные анализы химического состава кимберлитовых пород из трубок Хомпу-Майского поля

Table 1

Representative analyses of chemical composition of kimberlite rocks from pipes of the Khompu-May field

Окислы и элементы	Хомпу-Майский куст					Барылайский куст							
	Трубка Манчары					Трубка им. А.П. Смелова				Трубка Дабан			
	Глубина, м												
	101	79	57	35	25	172,6	124,3	115,9	61	25,7	84,3	36	13,7
SiO ₂	26,14	27,05	29,62	27,62	18,55	27,59	25,01	19,26	26,47	8,44	18,50	10,46	4,90
TiO ₂	3,74	3,55	3,74	3,52	2,40	1,86	1,60	13,08	2,73	1,56	0,87	1,04	2,28
Al ₂ O ₃	2,15	1,85	2,04	1,85	1,17	0,75	1,82	2,87	1,60	1,06	3,10	3,00	2,60
Fe ₂ O ₃	8,42	7,27	9,06	6,64	12,60	5,21	4,27	6,01	6,01	0,25	2,11	1,71	1,31
FeO	1,45	2,25	2,29	2,24	4,71	2,70	2,39	9,49	2,75	14,53	2,00	3,86	4,44
MnO	0,15	0,12	0,14	0,14	0,13	0,10	0,12	0,18	0,14	0,29	0,03	0,07	0,04
MgO	30,51	29,61	32,11	31,11	20,26	31,80	30,13	25,86	30,46	10,26	13,35	13,42	10,60
CaO	10,41	10,07	7,04	6,91	16,17	10,05	13,06	8,16	9,41	24,28	24,45	27,06	32,83
Na ₂ O	0,69	1,25	0,44	1,75	0,03	0,40	0,44	0,24	0,85	0,01	0,04	0,03	0,04
K ₂ O	0,07	0,53	0,29	0,16	0,01	0,47	0,44	0,34	1,02	0,02	0,62	0,28	0,24
H ₂ O ⁻	1,07	0,01	0,53	0,47	0,72	0,89	1,00	0,98	0,66	0,14	0,68	0,98	0,56
H ₂ O ⁺	12,64	11,60	11,55	9,45	6,82	10,63	8,79	6,88	7,66	1,15	0,14	0,00	0,00
ppp	0,44	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,18
P ₂ O ₅	1,27	0,11	0,70	1,27	4,58	1,28	0,72	0,67	1,27	1,17	0,39	0,39	0,52
CO ₂	1,64	4,63	0,27	6,90	11,84	7,08	16,08	19,08	8,97	36,63	33,15	37,94	39,14
Li ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Rb ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S	0,28	0,25	0,24	0,26	0,30	0,21	0,32	0,26	0,16	0,19	1,31	0,16	0,16
F	0,23	0,08	0,11	0,25	0,34	0,12	0,13	0,10	0,40	0,10	0,21	0,20	0,16
Сумма	100,14	100,20	100,01	99,98	99,78	100,21	99,56	99,66	99,74	99,92	100,19	99,89	99,40

По сравнению с алмазонасными кимберлитами Далдынского и Алакит-Мархинского полей [23] (см. рис. 5, а), образцы кимберлитов трубок им. А.П. Смелова, Манчары и им. Артемова обогащены всем спектром РЗЭ. Распределение *высокочарядных элементов HFSE (Nb, Zr, Ta, Hf, Th, U, Pb, Ti)*, нормированных к примитивной мантии РМ [21], проиллюстрировано на рис. 5. По содержанию Nb, Ta, Ti и Th исследуемые образцы сопоставимы с кимберлитами группы I ЮАР (см. рис. 5, в–е). В целом изученные породы демонстрируют отрицательную титановую аномалию, которая характеризуется более высокими концентрациями TiO₂ относительно кимберлитов Далдынского и Алакит-Мархинского полей (см. рис. 5, б).

Наиболее высокие концентрации Zr отмечают в кимберлитах трубки Манчары. Подобные содержания отмечают только в силлах Весселтон (см. рис. 5, в), что согласуется с присутствием в кимберлитах трубки Манчары и в силлах Весселтон [24] минералов циркония (бадделит, кимцеит, кальцитрит, цирконолит). Кроме того, для всех исследуемых тел Хомпу-Майского поля характерна выраженная отрицательная аномалия Pb (см. рис. 5, в–е).

Крупные литофильные элементы LILE (Cs, Rb, K, Ba и Sr) демонстрируют широкую вариацию концентраций во всех исследуемых трубках. Наиболее низкими содержаниями цезия характеризуются кимберлиты трубки Манчары, что характерно и для пород из Далдынского и Алакит-

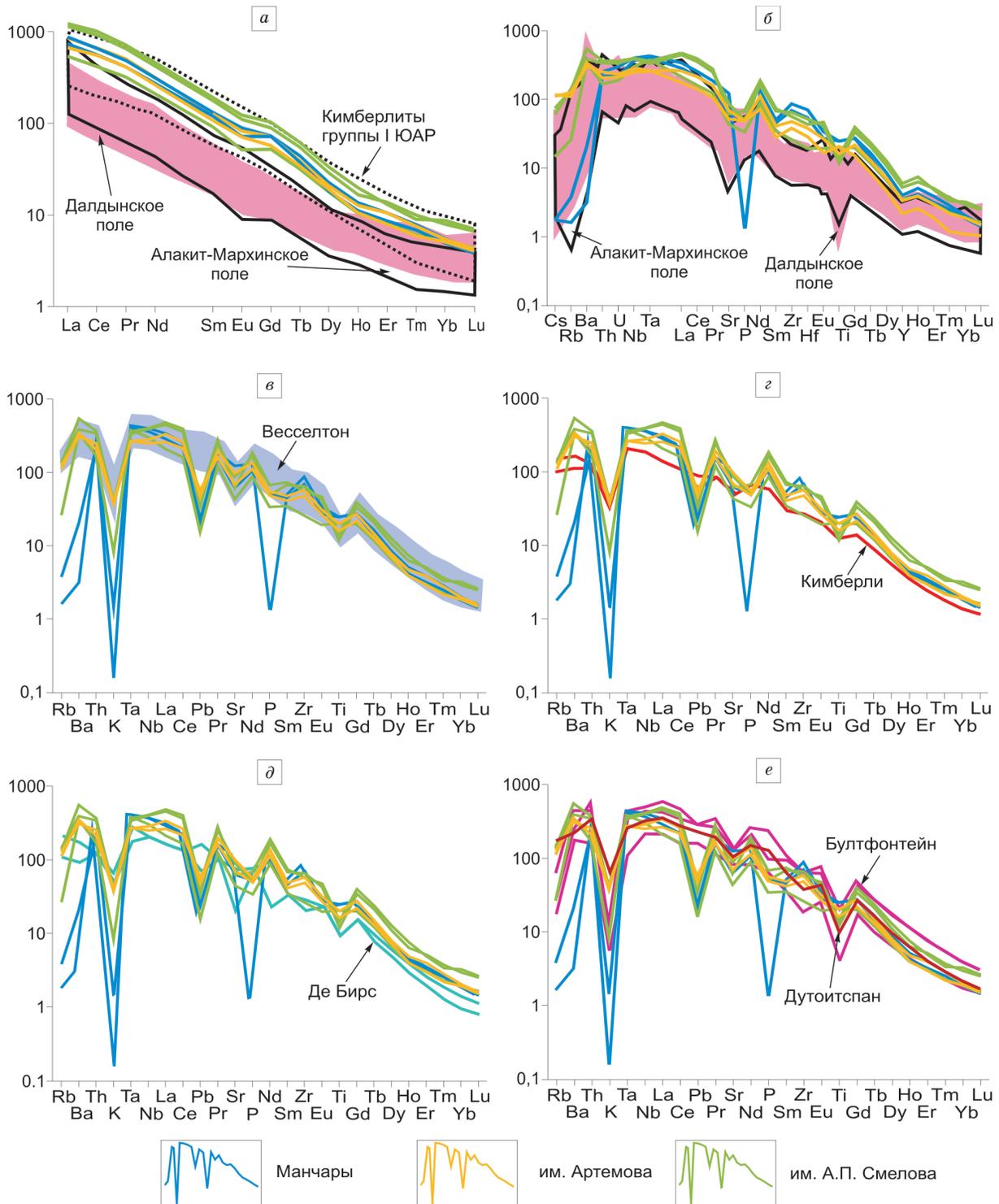


Рис. 5. Нормированные к хондриту (а) [21] и к примитивной мантии (б–е) [21] содержания редких элементов в кимберлитовых породах Хомпу-Майского, Далдынского [23], Алакит-Мархинского [23] полей и провинции Кимберли (ЮАР) [22].

Fig. 5. Trace elements normalized to chondrite (a) [21] and primitive mantle (b–e) [21] in kimberlites of the Khompu-May, Daldynskoe [23], Alakit-Marxinskoe [23] fields, Russia and the Kimberley province, RSA (South Africa) [22].

Мархинского полей (см. рис. 5, б). На плавные субпараллельные структуры обогащения редки-

ми элементами в исследуемых породах накладываются отрицательные аномалии Rb, K, Ba и Sr.

Редкие элементы в кимберлитовых породах Хомпу-Майского поля (ppm)

Table 2

Trace elements in kimberlite rocks of the Khompu-May field (ppm)

Элемент	Хомпу-Майский куст					Барылайский куст		
	Трубка Манчары		Трубка им. Артемова			Трубка им. А.П. Смелова		
	Глубина, м							
	56	96	26			67,3	74,6	182,2
Cs	0,04	0,04	3,05	2,33	2,46	1,57	1,27	0,31
Rb	2,26	0,97	65,54	75,54	65,97	80,54	85,21	15,68
Ba	136,27	20,94	1180,02	2013,68	2258,91	3575,30	2534,71	2258,67
Th	17,34	20,24	2,98	19,86	16,38	28,93	26,82	13,36
U	4,42	6,04	4,67	4,72	4,31	7,30	6,87	3,81
Nb	238,85	262,33	177,00	183,85	162,77	261,63	255,07	197,45
Ta	14,96	15,96	10,56	9,83	9,79	13,31	12,28	13,87
K	354,86	39,35	11594,27	9406,91	8863,49	9130,17	9702,23	1989,32
La	185,16	220,93	118,26	215,01	168,68	308,40	288,85	135,10
Ce	362,64	430,76	236,75	432,33	357,30	657,87	598,06	269,82
Pb	3,48	3,10	13,42	6,99	8,61	7,06	5,04	2,32
Pr	40,25	47,17	26,99	49,40	40,45	70,12	63,71	31,17
Sr	1224,77	2437,67	1029,62	1928,70	1374,03	1216,88	1731,95	860,66
P	4674,46	124,76	4394,33	4958,96	4367,57	6075,89	4433,44	3026,99
Nd	132,68	163,84	89,60	168,44	138,49	233,00	207,21	108,75
Sm	18,45	20,30	11,40	19,44	16,63	29,75	27,28	14,11
Zr	725,20	908,78	399,44	599,52	502,04	588,83	680,49	272,53
Hf	15,33	19,87	8,08	12,37	10,78	12,29	14,64	5,49
Eu	4,19	5,22	2,56	4,80	4,12	7,19	6,46	2,98
Ti	29598,79	29853,68	24856,17	23993,29	19363,31	17498,46	14303,39	24324,52
Gd	14,74	14,97	8,23	14,79	11,81	21,40	18,47	10,75
Tb	1,40	1,65	0,85	1,46	1,28	2,33	2,06	1,18
Dy	4,59	5,75	3,15	5,26	4,80	8,52	7,28	4,47
Y	15,22	17,42	9,34	16,41	14,43	25,78	22,58	15,30
Ho	0,62	0,76	0,39	0,71	0,59	1,11	0,93	0,58
Er	1,40	1,71	0,84	1,71	1,30	2,13	2,24	1,33
Tm	0,17	0,20	0,08	0,19	0,15	0,23	0,25	0,15
Yb	0,81	0,90	0,48	0,89	0,83	1,42	1,29	0,83
Lu	0,10	0,10	0,07	0,11	0,10	0,18	0,17	0,11

Кимберлиты трубки Манчары демонстрируют наиболее сильное обеднение K, Ba и Rb, что отличает их от трубок ЮАР, которые обладают более высокими концентрациями этих микроэлементов (см. рис. 5, в–е). Близкие с трубкой Манчары содержания Ba, Rb и Cs отмечаются в кимберлитах Далдынского и Алакит-Мархинского полей. В целом по содержанию Rb образцы кимберлитов из трубок им. Артемова и им. А.П. Смелова сопоставимы с кимберлитами группы I Южной Африки.

Исследуемые образцы из трубок им. А.П. Смелова и им. Артемова более обогащены Ba, чем породы трубок Де Бирс [22] (см. рис. 5, д) и Кимберли [22] (см. рис. 5, з) и сопоставимы с кимберлитами трубок Дутоитспан (см.рис. 5, е) [22], Бултфонтейн (см. рис. 5, е) [22] и силлов Весселтон (рис. 5, в) [22]. Отрицательные аномалии K,

Rb и Ti в южноафриканских кимберлитах группы I были проинтерпретированы Ле Роэком [22] как особенности первичной кимберлитовой магмы.

Таким образом, фигуративные точки составов кимберлитовых пород трубок Манчары, им. А.П. Смелова и Дабан на спайдердиаграммах демонстрируют схожий между собой спектр распределения редких элементов, что может свидетельствовать о единой для них системе кимберлитобразования. Породы Хомпу-Майского поля в целом имеют более близкий рисунок распределения спектров микроэлементов с кимберлитами группы I Южной Африки, чем с кимберлитами Далдынского и Алакит-Мархинского полей Якутской кимберлитовой провинции.

Заключение

Проведенное исследование пород трубок Манчары, Дабан и им. А.П. Смелова показало однотипность их петрографического состава и близкий характер постмагматических изменений, обусловленных наложенной карбонатизацией. Обобщенная модель строения верхней части кимберлитовых трубок Хомпу-Майского поля выглядит следующим образом: нижние горизонты тел сложены массивными породами с наименее измененной основной массой серпентин-флогопит-карбонатного состава. Благодаря карбонатизации верхних горизонтов произошло фрагментирование пород, приведшее к формированию участков с автолитоподобной текстурой, связующая масса которых представлена серпентином и кальцитом. Данный процесс не является равномерным и в объеме средних горизонтов трубки наряду с фрагментированными встречаются блоки пород с наименее измененным серпентин-флогопит-карбонатным мезостазисом.

Верхние горизонты диатрем сложены нацело карбонатизированными кимберлитовыми породами с утраченными текстурно-структурными признаками. Таким образом, при изучении петрографического состава установлено, что для трубок из разных кустов Хомпу-Майского поля характерно однотипное строение, обусловленное близким характером постмагматических изменений. Карбонатизация самых верхних горизонтов приводит и к уничтожению пиропы, пикроильменита и хромшпинелида, что объясняет их отсутствие в терригенных ореолах над трубками и затрудняет минералогический поиск таких тел. Можно предположить, что наличие верхних карбонатизированных горизонтов с утраченными

ми текстурно-структурными признаками является косвенным свидетельством малого эрозионного среза кимберлитовых диатрем.

Проведенные петрографические исследования подтверждают отсутствие фазовых взаимоотношений между кимберлитовыми породами в пределах исследуемых трубок. Появление фрагментированных пород с автолитоподобной текстурой обусловлено процессами постмагматической карбонатизации.

Исследование петрохимических особенностей кимберлитов Хомпу-Майского поля подтвердило, что все исследуемые объекты сложены кимберлитовыми породами, а вариации их химического состава обусловлены интенсивностью проявления процессов карбонатизации. Кимберлитовые породы диатрем обоих кустов Хомпу-Майского поля на спайдердиаграммах демонстрируют схожий спектр распределения редких элементов, что может свидетельствовать о единой для них системе кимберлитобразования. Кроме того, порфиновые кимберлиты и кимберлитовые брекчии исследуемых диатрем по распределению спектра микроэлементов сопоставимы с кимберлитами группы I ЮАР. Трубки Манчары, им. Артемова и им. А.П. Смелова имеют характерные отрицательные аномалии Rb, K, Sr и Ti, которые также являются особенностью первичной кимберлитовой магмы южноафриканских кимберлитов.

Вещественная специфика кимберлитовых пород трубок Хомпу-Майского поля хорошо отражается в химическом и микроэлементном составе пород и позволяет предположить схожие условия формирования кимберлитов Центральной Якутии и Южной Африки.

Список литературы / References

1. Смелов А.П., Белоусова Е.А., Зайцев А.И., Олейников О.Б., Павлушин А.Д., Опарин Н.А. Первые данные о составе и возрасте погребенного фундамента Алданской антеклизы (Сибирская платформа): результаты датирования ксеногенного циркона из кимберлитов трубки Манчары. *Отечественная геология*. 2013; 5:68–72.
- [Smelov A.P., Belousova Ye.A., Zaytsev A. I., Oleynikov O. B., Pavlushin A. D., Oparin N.A. The first data on composition and age of buried basement of Aldan antecline (Siberian platform): results from a xenocrystic zircon from the Manchary pipe kimberlites. *Otechestvennaya geologiya*. 2013;5:68–72. (In Russ.).]
2. Зайцев А.И., Олейников О.Б., Опарин Н.А., Алтухова З.А., Бабушкина С.А. Rb-Sr изотопная геохимия и возраст кимберлитов аномалии Thm-04-11 (Хомпу-

Майское поле, Центральная Якутия). *Отечественная геология*. 2014;5:64–58.

[Zaytsev A.I., Oleynikov O.B., Oparin N.A., Altukhova Z.A., Babushkina S.A. The Rb-Sr isotope geochemistry and age of kimberlites from Tm-04-11 anomaly (Khompu-May field, Central Yakutia). *Otechestvennaya geologiya*. 2014;5:64–58. (In Russ.)].

3. Махоткин И.Л., Бекренев К.А., Кочнев В.Э., Хачатрян Г.К., Каменецкий В.С. Палеозойские Mg-Ti кимберлиты и Mg карбонатиты Менда-Барылайского алмазоносного района Южной Якутии – новый петрологический ключ к пониманию формирования Якутской алмазоносной провинции. *Материалы XIII Всероссийского петрографического совещания*. 2021; 2:148–151.

[Makhotkin I.L., Bekrenev K.A., Kochnev V.E., Khachatryan G.K., Kamenetskiy V.S. Paleozoic Mg-Ti kimberlites and Mg carbonatites of the Menda-Barylai diamond-bearing region of South Yakutia – a new petrological key to understanding the formation of the Yakutian diamond-bearing province. *Proceedings of the 13th All-Russian Petrographic Conference*. 2021;2:148–151. (In Russ.)].

4. Опарин Н.А., Олейников О.Б., Бабушкина С.А. Флогопит из трубок Манчары и Апрельская (Хомпу-Майское кимберлитовое поле, Центральная Якутия). *Отечественная геология*. 2017;5:37–44.

[Oparin N.A., Oleynikov O.B., Babushkina S.A. Phlogopite from Manchary and Aprelskaya kimberlite pipes (Central Yakutia). *Otechestvennaya geologiya*. 2017; 5:37–44. (In Russ.)].

5. Oparin N., Oleynikov O. Groundmass chromspinelles from kimberlites of Khompu-May kimberlite field. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;906: 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/906/1/012108>.

6. Oparin N., Oleinikov O. Barium phlogopite from kimberlite pipes of Central Yakutia. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018*. 2018;18(1.1):19–26. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/1.1/S01.003>.

7. Опарин Н.А., Олейников О.Б. Хромшпинелиды из трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия). *Отечественная геология*. 2018; 5:35–41.

[Oparin N.A., Oleynikov O.B. Chromspinelides from kimberlite pipes of the Khompu-May field (Central Yakutia). *Otechestvennaya geologiya*. 2018;5:35–41. (In Russ.)].

8. Опарин Н.А., Олейников О.Б. Макрокристаллы пикроильменита кимберлитовых трубок Хомпу-Майского кимберлитового поля (Центральная Якутия). *Отечественная геология*. 2019;6:43–49.

[Oparin N.A., Oleynikov O.B. Picroilmenite macrocrystals from kimberlite pipes of the Khompu-May field (Central Yakutia). *Otechestvennaya geologiya*. 2019;6: 43–49. (In Russ.)].

9. Oparin N., Oleinikov O. Chromspinelles from kimberlite pipes from the Central Yakutia. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference*

SGEM 2019. 2019;19(1.1):83–90. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.1/S01.011>.

10. Опарин Н.А., Олейников О.Б., Баранов Л.Н. Апатит из кимберлитовой трубки Манчары (Центральная Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020;25(3):13–24.

[Oparin N.A., Oleynikov O.B., Baranov L.N. Apatite from the Manchary kimberlite pipe (Central Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020;25(3):13–24. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-2>.

11. Oparin N., Oleynikov O. Picroilmenite from Kimberlite Pipes of Central Yakutia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020;609:012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012028>.

12. Опарин Н.А., Олейников О.Б., Баранов Л.Н. Минералы ряда флогопит–киншита основной массы кимберлитовых пород трубок Хомпу-Майского поля (Центральная Якутия). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021;26(4):29–42.

[Oparin N.A., Oleynikov O.B., Baranov L.N. Minerals of the phlogopite-kinoshitalite series from the groundmass of kimberlite rocks in pipes from the Khompu-May field (Central Yakutia). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2021;26(4):29–42. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-4-29-42>.

13. 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., Олейников О.Б., Сурнин А.А. Кимберлиты трубки Манчары: новое кимберлитовое поле Центральной Якутии. *Геология и геофизика*. 2010;51(1):153–159.

[Smelov A.P., Andreev A.P., Altukhova Z.A., Babushkina S.A., Bekrenev K.A., Zaytsev A.I., Izbekov E.D., Koroleva O.V., Mishnin V.M., Okrugin A.V., Oleynikov O.B., Surnin A.A. Kimberlites of the Manchary pipe: a new kimberlite field in Central Yakutia. *Russian Geology and Geophysics*. 2010;51(1):153–159. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.012>.

14. Милашев В.А. *Трубки взрыва*. Л.: Недра; 1984. 268 с.

[Milashev V.A. *Explosion pipes*. Leningrad: Nedra; 1984. (In Russ.)].

15. Корнилова В.П., Никишов К.Н., Ковальский В.В., Зольников Г.В. *Атлас текстур и структур кимберлитовых пород*. М.: Наука; 1983. 157 с.

[Kornilova V.P., Nikishov K.N., Kovalskiy V.V., Zolnikov G.V. *Atlas of textures and structures of kimberlite rocks*. Moscow: Nauka; 1983. (In Russ.)].

16. Mitchell R.H. *Kimberlites, orangeites, and related rocks*. New York: Plenum Press; 1995.

17. Scott-Smith B.H., Nowicki T. E., Russell J. K., et al. *A glossary of kimberlite and related terms (Part 1, Part 2, Part 3)*. Vancouver: Scott-Smith Petrology Inc; 2017.

18. Опарин Н.А., Олейников О.Б., Заякина Н.В. Особенности минерального состава кимберлитовых пород Хомпу-Майского поля. *Арктика XXI век. Технические науки*. 2015;3(1):12–20.

Н. А. Опарин, О. Б. Олейников ♦ Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок...

[Oparin N.A., Oleynikov O.B., Zayakina N.V. The features of kimberlite rocks mineral composition of Khompu-May field. *Arktika XXI vek. Tekhnicheskie nauki*. 2015; 3(1):12–20. (In Russ.)].

19. Маршинцев В.К. *Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Якутии*. Новосибирск: Наука; 1986. 240 с.

[Marshintsev V.K. *Vertical heterogeneity of kimberlite bodies of Yakutia*. Novosibirsk: Nauka; 1986. 240 p. (In Russ.)].

20. Holmes A.A. Contribution to the petrology of kimberlite and its inclusions. *Transactions of the Geological Society of South Africa*. 1936;39:379–428.

21. McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 1995;120:223–253.

22. Le Roex A.P., Bell D.R., Davis P. Petrogenesis of group I kimberlites from Kimberley, South Africa:

Evidence from bulk-rock geochemistry. *Journal of Petrology*. 2003;44(12):2261–2286. <https://doi.org/10.1093/petrology/egg077>.

23. Каргин А.В., Голубева Ю.Ю., Кононова В.А. Кимберлиты Далдыно-Алакитского района (Якутия): Пространственное распределение пород с различными вещественными характеристиками. *Петрология*. 2011;19(5):520–545.

[Kargin A.V., Golubeva Yu.Yu., Kononova V.A. Kimberlites of the Daldyn-Alakit Region (Yakutia): Spatial distribution of the rocks with different chemical characteristics. *Petrology*. 2011;19(5):520–545. (in Russ.)].

24. Mitchell R.H. Accessory Rare Earth, Strontium, Barium and Zirconium Minerals in the Benfontein and Wesselton Calcite Kimberlites. *International Kimberlite Conference: Extended Abstracts*. 1991;5:292–294. DOI: 10.29173/ikc2544.

Об авторах

ОПАРИН Николай Александрович, младший научный сотрудник, Author ID: 57035370200, Researcher ID: J-7673-2018, <https://orcid.org/0000-0002-3019-1245>, e-mail: nik3256-1989@yandex.ru

ОЛЕЙНИКОВ Олег Борисович, ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Author ID: 8730610300, Researcher ID: K-1689-2048, <https://orcid.org/0000-0003-1010-7592>, e-mail: olei-oleg@yandex.ru

Аффилиация

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 39, Российская Федерация

About the authors

OPARIN, Nikolay Alexandrovich, Junior researcher, Author ID: 57035370200, Researcher ID: J-7673-2018, <https://orcid.org/0000-0002-3019-1245>, e-mail: nik3256-1989@yandex.ru

OLEINIKOV, Oleg Borisovich, Cand.Sci (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Author ID: 8730610300, Researcher ID: K-1689-2048, <https://orcid.org/0000-0003-1010-7592>, e-mail: olei-oleg@yandex.ru

Affiliation

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russian Federation

Поступила в редакцию / Submitted 20.09.2022

Поступила после рецензирования / Revised 31.10.2022

Принята к публикации / Accepted 10.11.2022