

## К вопросу о номенклатуре и классификации кимберлитов и лампроитов

Обзор классификаций кимберлитов и лампроитов основан на анализе преимущественно петрографо-минералогических характеристик. Выделены ведущие минералы, позволяющие различать кимберлиты группы I, группы II (оранжеиты) и оливиновые лампроиты.

Ключевые слова: *кимберлит, оранжсит, оранжеит, лампроит, минерал.*

M. N. GOLOBURDINA (VSEGEI)

## On the issue of terminology and classification of kimberlites and lamproites

An overview of the classification of kimberlites and lamproites, based on the analysis petrographic and mineralogical characteristics. Selected leading minerals, allowing to distinguish kimberlites of the group I, group II and olivine lamproites.

Keywords: *kimberlite, orangite, orangeite, lamproite, mineral.*

**Кимберлиты.** Коренные алмазоносные породы впервые обнаружены в 1870 г. в Южной Африке — копей Ягерсфонтейн. Позднее был открыт еще ряд копей, в том числе и Кимберли (по имени британского секретаря по делам колоний лорда Кимберли) [16]. В 1887 г. Кервил Льюис, изучив африканские алмазоносные породы, слагающие трубчатые тела, назвал их кимберлитами. Не имея в своем распоряжении точных аналитических методов исследования, К. Льюис установил, что кимберлит — порода, образующая магматический цемент брекчии, представленный серпентинизированным порфириным перидотитом со своеобразной базальтовой структурой и пикритовым порфиритом, обогащенным биотитом.

П. А. Вагнер (1914) изучил кимберлиты в Южной Африке, выделил базальтовые и слюдястые (или лампрофировые) их разновидности, а впоследствии (1928) предложил обогащенные слюдой кимберлиты, распространенные в Оранжевом Свободном Государстве Африки, назвать «оранжитом» [20].

Совместное нахождение кимберлитов и щелочных базальтоидов (мелилитовые и нефелиновые базальты) и определенные содержания глинозема и щелочей в кимберлитах позволили А. Н. Заварицкому (1955) и Г. М. Гапеевой (1958) предположить между этими породами генетическую связь и рассматривать кимберлиты как разновидность щелочных базальтоидов [5, 7].

Е. В. Францесон (1968) считает главными особенностями кимберлитов щелочно-ультраосновной состав, сильную измененность вторичными процессами, кристаллокластическую структуру и наличие типоморфных минералов — алмаза, пиропита и пикроильменита, отличающих их от щелочных базальтоидов и щелочно-ультраосновных пород порфиривого облика [15]. Кимберлиты, распространенные на севере Якутской алмазоносной провинции, по Е. В. Францесон, отличаются от близких к ним пикритов по ряду особенностей структуры, минеральному и химическому составу: образуются

в течение нескольких этапов кристаллизации; в них присутствуют кристаллокластические структуры и структуры автомагматических брекчий; для них характерны минералы пироповых перидотитов, а также пониженные содержания железа, титана, кальция и щелочей при более высоких содержаниях магния и хрома.

Н. Н. Сарсадских и В. А. Благулькина (1969) под кимберлитом понимают «...гипабиссальные ультраосновные породы существенно оливинового состава порфириковой структуры, в которых присутствуют включения глубинных пироподержащих ультраосновных пород и отдельные минералы этих пород» (с. 415). «Минеральный состав связующей массы кимберлитов более или менее постоянен. Он характеризуется наличием фенокристаллов оливина и флогопита и основной массы, сложенной мелкими зернами измененного оливина, карбонатизированного пироксена, флогопита, перовскита, магнетита, а также серпентинизированным и карбонатизированным стекловатым базисом» [14, с. 418]. Авторы отмечают, что в связующей массе кимберлитов могут присутствовать монтичеллит и апатит, а пироксен встречается только в виде микролитов.

В. А. Благулькиной (1969) впервые кимберлиты были разделены по составу на три петрохимических типа: I — маложелезистый слабощелочной ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  3,88–10,80,  $\text{K}_2\text{O}$  0,00–0,80,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  1,33–5,29,  $\text{TiO}_2$  0,24–2,48,  $\text{MgO}$  19,78–33,06 %); II — маложелезистый щелочной ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5,56–9,88,  $\text{K}_2\text{O}$  0,33–1,67,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,00–4,61,  $\text{TiO}_2$  0,25–0,47,  $\text{MgO}$  20,91–35,11 %); III — железистый щелочной ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  7,92–14,08,  $\text{K}_2\text{O}$  0,00–2,69 и выше  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,25–7,77,  $\text{TiO}_2$  0,89–5,37,  $\text{MgO}$  8,76–28,76 %), среди которых I и III типы соответствуют I и II группам кимберлитов [3], принятым в современных классификациях [13, 19]. Автор также отмечает, что кимберлиты крайних петрохимических типов отличаются составом глубинных ксенолитов, для кимберлитов типа I характерны пироповые перидотиты и пироповые оливиниты, а в кимберлитах типа III дополнительно

присутствуют и пироповые пироксениты, иногда слюдяные перидотиты и нодулы пикроильменитов.

Результатом семинара по терминологии и классификации кимберлитовых пород (ЦНИГРИ, Москва, 11–12 марта 1969 г.) стало следующее определение кимберлита: «...ультраосновная с щелочным уклоном горная порода порфириковой структуры существенно оливинового состава, содержащая в викарирующих количествах флогопит, ильменит, пироп, пироксен, апатит, перовскит и некоторые другие минералы; кимберлит является материнской средой алмаза. Кимберлитовая брекчия — горная порода брекчиевой текстуры, состоящая из обломков кимберлита ранних генераций, родственных включений и вмещающих пород, связанных кимберлитовым материалом или продуктами его изменения; кимберлитовая брекчия является материнской породой алмаза» [2, с. 10].

Р. Х. Митчелл (1970) предложил отказаться от термина «базальтовый кимберлит», так как минеральный состав кимберлитов и базальтов различен и на генетическом уровне эти породы не связаны друг с другом [20]. По его мнению, кимберлиты могут иметь три минералогические разновидности по преобладанию оливина, флогопита и кальцита, которые соответственно эквивалентны базальтовому и слюдистому кимберлиту, выделенному П. А. Вагнером, и кальцитовому кимберлиту. Кальцитовая разновидность признана в связи с возможной кристаллизацией из кимберлитовой расплава магматического кальцита.

Б. А. Мальков (1975), установив магматический кальцит в кимберлитах, выделяет карбонатитовые кимберлиты, а впоследствии переименовывает их в кальцитовые [10]. Кальцитовый тип кимберлитов характеризуется присутствием в мезостазице магматического кальцита до 50–75 % и представляет собой «...ветвь кимберлитовых пород, не насыщенных кремнеземом с нормальным или щелочным (слюдяным) типом парагенезиса...» (с. 14). «Особенностью кальцитовых кимберлитов является переменное (10–40 об. %) количество вкрапленников оливина с преобладанием серпентино-кальцитового или чисто кальцитового мезостазица, обогащенного тонкозернистым перовскитом и магнетитом, что находит выражение в высокой железистости ( $f = 15–55\%$ ) пород... Слюда нередко присутствует в незначительном количестве (около 1 об. %) и представлена биотитом, а не флогопитом... Обычен, а в отдельных случаях обилен (до 5 об. %) апатит» [10, с. 15]. Кальцитовые кимберлиты могут быть разновидностью флогопитовых и безфлогопитовых кимберлитов. Важной характеристикой кимберлитов автор считает «...комплекс ксенокристаллов: алмаз, оливин, пироп, хромдиопсид, флогопит, пикроильменит, хромшпинелид и др. ...» (с. 9), происхождение которых связано с мантийными породами алмаз-пироповой и графит-пироповой фаций глубинности [10].

Изучив коллекцию кимберлитовых и комагматичных им пород Якутской провинции, В. П. Корнилова, К. Н. Никишов, В. В. Ковальский, Г. В. Зольников (1983) считают, что деление кимберлитовых пород на базальтоидные и лампрофировые неоправданно, так как содержание флогопита может существенно варьировать, например в кимберлитах дайки Великан, где содержание флогопита от 0 до 8 % [2]. В отличие от других исследователей, они считают, что алмаз, пироп и глубинные ксенолиты и их минералы не являются признаком деления кимберлитов и близких им пород, так как

отражают субъективные представления авторов об условиях зарождения и процессах формирования пород. По их мнению, «...кимберлитовые породы являются продуктами дифференциации и эволюции щелочно-ультраосновных расплавов и представляют собой непрерывный ряд пород». Они предлагают по условиям образования, структурно-текстурным особенностям, минеральному и химическому составу объединить кимберлиты, кимберлитовые брекчии с массивной текстурой цемента, автолитовые кимберлитовые брекчии, альнеиты и интрузивные карбонатиты в кимберлитовую формацию. Под «кимберлитом» они понимают «...ультраосновные с щелочным уклоном горные породы массивной текстуры, порфириковой структуры, состоящие из оливина в порфириковых выделениях и основной массы, содержащей в переменных количествах карбонат, серпентин, флогопит, пироксен, апатит, перовскит и некоторые другие минералы» (с. 13). Кимберлитовыми брекчиями авторы называют «...породы брекчиевой текстуры, состоящие из обломков кимберлита ранних генераций, родственных включений и вмещающих пород, цементом которых является порода, в большинстве случаев имеющая кимберлитовые особенности, но в переходных зонах приобретающая альнеитовые или карбонатитовые черты; кимберлитовая брекчия является материнской породой алмаза» (с. 13). По данным этих авторов, в составе аксессуарных минералов всех пород кимберлитовой формации присутствует пироп, а алмаз характерен только для кимберлитов.

При детальном исследовании «базальтовых» и «лампрофировых» кимберлитов Южной Африки К. Б. Смит и др. (1985) и Е. М. Скиннер (1989) определили их минералогические, изотопно-геохимические различия и переименовали породы соответственно в кимберлиты групп I и II [22, 24]. Исследователи установили, что оливин является главным минералом кимберлитов, который в виде ксено- и фенокрист содержится в породах в количестве 50 %. Кимберлиты группы II отличаются присутствием фенокрист и микролитов флогопита, иногда в виде пойкилитовых кристаллов; в основной массе может быть диопсид, редко монтчеллит, встречаются псевдоморфозы по мелилиту. Химический состав пород предполагает, что материнские породы кимберлитов группы I обогащены  $TiO_2$ , Nb и  $CO_2$ , а кимберлитов группы II K, Pb, Rb, Ba, LREE,  $SiO_2$  и  $H_2O$ . Изотопный состав кимберлитов различен: для группы I  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,703–0,705$ ,  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,51268–0,51276$ , а для группы II  $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,7075–0,710$ ,  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,51206–0,51227$ .

Обширный аналитический материал по кимберлитам группы I и II позволил Р. Х. Митчеллу (1995) сделать вывод о том, что по минеральному и геохимическому составу они отличаются и кимберлиты группы II имеют больше сходных минералогико-геохимических черт с лампроитами, чем с кимберлитами группы I, соответственно кимберлиты группы II не должны рассматриваться как разновидности кимберлитов, так как эти породы имеют разный генезис [20]. Он предложил кимберлитам группы II дать название, ранее сформулированное П. А. Вагнером (1928), — «оранжит» или «оранжеит» (по Р. Х. Митчеллу). Важным основанием для такого заключения Р. Х. Митчелл считает то, что кимберлитоподобные породы, содержащие в основной массе калиевый полевой шпат и титан-калиевый рихтерит, могли бы быть названы «санидин-рихтеритовыми

лампроитами», однако полевыми наблюдениями в районе развития кимберлитов группы II в Южной Африке установлено, что такие породы являются производными оливин-флогопитовых кимберлитов (оранжеитов по автору) и образовались в результате их дифференциации.

*Кимберлиты*, по Р. Х. Митчеллу, — это обогащенные летучими (доминирует  $\text{CO}_2$ ) калиевые ультраосновные породы с неравномернозернистой структурой, обусловленной присутствием макрокристаллов (0,5–10 мм) и иногда мегакристаллов (1–20 см), заключенных в мелкокристаллическую матрицу.

Основная масса кимберлита содержит преобладающий субидиоморфный и идиоморфный оливин, который находится в ассоциации с одним или несколькими минералами — монтичеллитом, флогопитом, перовскитом, шпинелью (магнезиальная ульвошпинель — магнезиальный хромит — ульвошпинель — магнетит), апатитом, карбонатом и серпентином. Кимберлиты могут содержать пойкилитовую слюду, относящуюся к ряду бариевый флогопит-киношиталит. Перовскиты и апатиты обеднены Sr и редкими землями относительно состава этих минералов из оранжеитов. Характерными акцессорными минералами являются никельжелезистые сульфиды и рутил. Породообразующие минералы обычно замещены серпентином и кальцитом.

Кимберлиты не содержат в основной массе первичный диопсид, его присутствие может быть обусловлено ассимиляцией кремнистых ксенолитов. Калиевый полевой шпат и калиевый рихтерит не обнаружены в основной массе кимберлитов.

Ассоциация мега- и макрокристаллов представлена ксеноморфными кристаллами оливина, пикроильменита, титанистого пироба, обедненного хромом, диопсида (обычно субизвестковистого), флогопита, энстатита и хромита, обедненного титаном. Р. Х. Митчелл считает, что в определение «кимберлит» нельзя включать эти минералы, так как они имеют ксеногенное происхождение, но приводит их, так как они в тех или иных количествах постоянно встречаются в кимберлитах. Алмаз не включен в определение.

Некоторые разновидности кимберлитов обеднены или лишены макрокристаллов, состоят из оливина второй генерации, кальцита, серпентина, магнетита и содержат незначительное количество флогопита, апатита и перовскита.

В большинстве исследованных кимберлитов редко встречаются K-Ba титанаты, K-Zr силикаты и Sr-, Ba-, Mg- и редкоземельные карбонаты, которые распространены в основной массе оранжеитов. Подобная минеральная ассоциация, как отмечает Р. Х. Митчелл, обнаружена только в высокодифференцированных разновидностях кальцитовых кимберлитов, например трубки Бултфонтейн и силлов Весселтон (Южная Африка). Однако эти кимберлиты содержат киношиталит и магнезиальную ульвошпинель, т. е. типоморфные минералы, позволяющие отличать их от оранжеитов.

*Оранжеиты*, по Р. Х. Митчеллу, — ультракалиевые, обогащенные летучими (доминирует  $\text{H}_2\text{O}$ ) породы, которые содержат макрокристаллы и микрофенокристаллы флогопита, заключенные в слюдистую основную массу. Состав слюды — от флогопита до тетраферрифлогопита. Оливин присутствует в виде округлых макрокристаллов и наиболее распространенных идиоморфных кристаллов, но оливин не всегда преобладает в составе породы.

Основная масса оранжеитов состоит из диопсида, обычно зонального, с каймой титанистого эгирина; шпинели (от Mg-хромита до Ti-магнетита); перовскита, обогащенного Sr и редкоземельными элементами; апатита, обогащенного Sr; фосфатов, обогащенных редкими землями — монацит, дакуингсанит ( $(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba})_2(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4(\text{CO}_3, \text{OH}, \text{F})$ ), а также содержит калиево-бариевые титанаты (гр. холландита); калиевые трискайдекатинаты ( $\text{K}_2\text{Ti}_{13}\text{O}_{27}$ ); Nb-содержащий рутил и Mn-содержащий ильменит.

В основной массе оранжеитов могут присутствовать кальцит, доломит, редкоземельные карбонаты (анкилит  $\text{Sr}_3(\text{Ce}, \text{La}, \text{Dy})_4[(\text{OH})_4(\text{CO}_3)_7] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , витерит  $\text{BaCO}_3$ , норсетит  $\text{BaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) и серпентин, силикаты циркония — вадейт ( $\text{K}_2\text{CaZr}(\text{SiO}_3)_4$ ), циркон, кимцеитовый гранат ( $\text{Ca}_3(\text{Zr}, \text{Ti})_2(\text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_{12}$ ), кальций-циркониевые силикаты, барит. В дифференцированных разновидностях оранжеитов в основной массе содержатся санидин и калиевый рихтерит.

Оранжеиты также отличаются от кимберлитов отсутствием монтичеллита, магнезиальной ульвошпинели и обогащенных барием слюд, относящихся к бариевому флогопит-киношиталитовому ряду. Кроме того, оранжеиты, как и кимберлиты, не содержат мелилита, плагиоклаза, кальсилита и нефелина.

Во втором издании рекомендаций Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук (2002) сохранено деление кимберлитов на группы I и II, характеристика которых полностью приведена по Р. Х. Митчеллу (1995), и термины «кимберлит группы II» и «оранжеит» в этой классификации тождественны [19].

Исследователи С. В. Белов, А. В. Лапин, А. В. Толстов, А. А. Фролов (2008) считают, что «кимберлит — гипабиссальная ультраосновная щелочная порода, производная мантийной магмы, сложенная макрокристаллами оливина, флогопита, пироксена, ильменита. Она характеризуется наличием акцессорных минералов (пироба, хромдиопсида, алмаза), заключенных в основной массе, сложенной микролитами оливина, пироксена, флогопита, шпинели, перовскита, ильменита, апатита и измененной процессами серпентинизации и карбонатизации» [12, с. 37]. Поскольку четких петрографических различий между кимберлитами и родственными породами нет, авторы предлагают: «Для приведения номенклатуры этого семейства в соответствие с его реальной структурой представляется целесообразным сохранить традиционное название только за алмазонасными кимберлитами, для обозначения неалмазонасных и убогалмазонасных кимберлитов с учетом существенных отличий в их вещественном составе использовать предложенный В. А. Милашевым (1974) термин «кимпикриты», а за пикрит-альнеитовыми породами, ассоциирующими с редкометалльными карбонатитами, закрепить общее название «альпикриты»...» (с. 209). Авторы создали отличную от других классификационную структуру, основанную на петрохимическом и изотопно-геохимическом составе пород и их алмазонасности: «семейства кимберлитов и конвергентных пород» представлены двумя подсемействами — кимберлитов-альпикритов, объединяющими кимберлиты, кимпикриты, альпикриты, камафугиты, и лампроитов-оранжеитов, включающих оливиновые лампроиты, оранжеиты, маджаваниты.

В Петрографическом кодексе России (2008) кимберлиты рассматриваются как «...*сообщество разнообразных по облику ультраосновных, умеренно-щелочных и щелочных богатых летучими пород с ярко выраженной такситовой текстурой...*», которые «...*состоят из большого количества оливина (до трех генераций)... серпентинизированного, с непостоянными количествами флогопита, клинопироксена, монтичеллита, карбоната и характерных аксессуарных минералов — пирона, хромшпинелида, хромдиопсида, пикрольменита, рутила, перовскита. Кимберлиты содержат ксенолиты и ксенокристы, в том числе мантийного генезиса...*» [13, с. 154]. В кодексе кимберлиты, как и в «Рекомендациях Подкомиссии по систематике изверженных пород» (2002), подразделяются на две группы. «*Кимберлиты первой группы... — калиевые ультраосновные породы с преобладанием среди летучих  $CO_2$  и обычно с неравномерно-зернистой структурой, обусловленной присутствием макрокристаллов оливина; некоторые из них могут быть ксенокристами. Кимберлиты второй группы (оранжиты) — ультракалиевые щелочные породы с преобладанием среди летучих  $H_2O$ , флогопитовыми макрокристаллами и микрофенокристаллами и людами в основной массе; округлые макрокристы и идиоморфные первичные кристаллы оливина для оранжитов обычны. Оранжиты имеют большое минералогическое сходство с лампроитами*» (с. 154).

В связи с отсутствием четких петрографических границ между кимберлитами и родственными породами (пикритами, альнеитами) В. А. Милашев (2010) предлагает в определение «кимберлит» вкладывать генетические особенности алмазоносных пород и дает петрологическое понятие «...*семейства порфировых ультраосновных, щелочно-ультраосновных и щелочных пород, материнские расплавы которых зарождались и эволюционировали в условиях высокobarической (кимберлитовой) фации магматизма, критическими минералами которой являются алмаз, пироп и титаносодержащий магнохромит*» [11, с. 75]. При этом отмечается, что прямой зависимости между относительными количествами алмаза и пирона нет, так как существуют неалмазоносные кимберлиты с высоким содержанием пирона.

С позиции В. А. Милашева (2010), кроме оливина и флогопита в основной массе кимберлитов могут присутствовать мелилит до 30 % объема породы, микролиты клинопироксена; монтичеллит до 60 % объема породы; присутствие нефелина (до 15 %) допускается в некоторых мелилитовых и монтичеллитовых кимберлитах, в флогопит-оливиновых разновидностях он образует включения во флогопите основной массы.

Принимая во внимание новые данные по алмазосодержащим породам Африки, Сибири, Австралии, Южной и Северной Америки, их разнообразному минеральному и химическому составу, охватывающему несколько семейств пород от пикритов до лампроитов, и исходя из петрологических выводов о том, что возрастание щелочности выше пределов, известных в слюдяных кимберлитах, при общем падении основности пород приводит к появлению К-рихтерита, а впоследствии и лейцита, В. А. Милашев (2010) предлагает новую классификацию кимберлитов, включающую оливиновые и флогопит-оливиновые кимберлиты, К-рихтерит-оливиновые и К-рихтерит-лейцитовые кимберлиты. Граница, отделяющая кимберлиты

от пикритов и лампроитов, устанавливается В. А. Милашевым по параметрам давления.

В. А. Милашев дает петрографическое понятие кимберлита, отличное от всех исследователей: «...*кимберлиты представляют собой ультраосновные и щелочно-ультраосновные породы, сложенные преимущественно порфировыми вкрапленниками оливина с подчиненным количеством флогопита, пиропового граната, иногда ильменита, диопсида, энстатита, калиевого рихтерита, лейцита, а в основной массе — микролитов мелилита, монтичеллита, нефелина, хромшпинелидов и нередко алмаза*» (с. 74).

Используемые в классификациях термины, определяющие происхождение одного из минералов кимберлитов, различны у разных авторов. Макрокристы оливина большинство авторов рассматривает как ксенокристы, редко как минералы I генерации [15]. Оливин из основной массы кимберлитов с субидiomорфным или идиоморфным обликом описывается как фенокристалл [20, 22], микрофенокристалл [10, 20] либо как микролит [14]. По «Петрографическому кодексу России» (2008), в кимберлитах может присутствовать до трех генераций оливина. Диопсид из основной массы кимберлитов определяется как микролит [14, 15] или микрофенокрист [20].

В приведенных классификациях кимберлитов намечаются основные противоречия.

В методических документах [13, 19] номенклатура и классификация кимберлитов в основном принята по Р. Х. Митчеллу с той лишь разницей, что за оранжеитом (или оранжитом) закреплено также и название «кимберлит группы II». Щелочность кимберлитов определяется по-разному, породы разделены на три типа — ультраосновные, умеренно-щелочные и щелочные [3, 13] либо характеризуется несколько неопределенной величиной — «калиевые» [19, 20].

Кальцитовые кимберлиты, выделенные Б. А. Малковым, в современных классификациях не рассматриваются. Относительно распространенности карбоната в кимберлитах противоречивым представляется то, что одни исследователи считают, что флогопитовый тип кимберлитов, т. е. кимберлиты группы II или оранжеиты, могут включать кальцитовую разновидность [10], другие — породы «...*отличаются пониженной известковистостью и существенно более низкими содержаниями углекислоты, фракционирование карбонатов и появление карбонатных составов совершенно несвойственны*» [12, с. 225].

В ряде классификаций алмаз считается важным отличительным признаком кимберлитов. Одна из классификаций, основанная на петрологическом определении, выделяет кимберлиты алмазной и пироповой субфации [11], а другая предлагает ввести и минерогенетический признак неалмазоносные, убогоалмазоносные и промышленно алмазоносные [12], что в целом обезличивает породы и противоречит принципам определения пород, основанных на составе породообразующих минералов. Так, алмаз может присутствовать и в лампрофирах, и в лампроитах, и, как считают многие исследователи, он является ксенокристом, а его нахождение в кимберлитах зависит от многих параметров — термодинамических, агрессивности углекислоты, фугитивности кислорода и других, проявленных в период внедрения кимберлитового расплава в земную кору.

В некоторых классификациях монтичеллит рассматривается как минерал, не характерный для оранжеитов [20] или кимберлитов группы II [19], а мелилит игнорируется [13, 19, 20] как типичный минерал кимберлитов.

Наличие монтичеллита в кимберлитах рудника Лэйс (район Кроонстад, Южная Африка) [18], классифицированных Р. Х. Митчеллом как оранжеиты, противоречит его классификации.

В настоящее время известно, что измененный мелилит присутствует в кимберлитах групп I и II диатремовых и реже гипабиссальных фаций [23]. В различных кимберлитах Южной Африки содержание измененного мелилита в кимберлитах группы II или оранжеитах гипабиссальной фации от 2,5 до 12 % (дайки и силлы, рудники Финч, Лэйс), 8 % (рудник Макганьяне), иногда до 20 % (рудник Фоорспойд); в кимберлитах группы II диатремовой фации от 5 до 20 % (рудники Финч, Лэйс, Фоорспойд, Макганьяне) и кимберлитах группы I диатремовой фации до 17 % (рудники Коффифонтейн и Эбенхаузер). В Архангельской алмазоносной субпровинции в кимберлитах диатремовых фаций (трубки Архангельская, Карпинский-1, Карпинский-2) содержится до 10 % измененного мелилита [1].

Таким образом, в авторской классификации [12], где предлагается выделить два подсемейства — *кимберлитов-альпикритов* (кимберлиты, кимпикриты, альпикриты) и *лампроитов-оранжеитов* (оливиновые лампроиты, оранжеиты, маджгаваниты), объединение лампроитов с оранжеитами достаточно противоречиво, так как в оранжеитах присутствует мелилит.

Имеется несколько гипотез о происхождении породообразующих минералов альнеитов — монтичеллита и мелилита в основной массе кимберлитов: образование кальцийсодержащих минералов в щелочноультраосновных породах регулируется парциальным давлением углекислоты и термодинамическими параметрами [9]; кристаллизация мелилита возможна при потере  $\text{CO}_2$  в результате дегазации кимберлитовой магмы, а также может образоваться в кимберлитах с относительно повышенным содержанием  $\text{SiO}_2$  в расплаве [23].

Присутствие мелилита в брекчиях кимберлитов может быть связано и с природой так называемых, по мнению разных исследователей, лапилей [20], или автолитов [2]. Автолиты представляют собой округлые образования разного размера (до 50–70 см) ядерные и безъядерные порфиорового и афиорового строения со стекловатой или микролитовой основной массой, иногда с флюидальной текстурой. Для кимберлитов диатремовой фации Южной Африки, Архангельской и Якутской алмазоносных провинций, Тимана характерна автолитовая текстура. В основной массе автолитов широко распространен мелилит, отсутствующий в цементе автолитовых брекчий. Учитывая многофазность кимберлитов, можно предполагать, что в последующих фазах автолиты могли разрушаться, таким образом высвободившиеся минералы попадали в основную массу кимберлитов.

Оригинальным представляется минеральный состав дифференцированных разновидностей оранжеитов, в основной массе которых присутствуют санидин, калиевый рихтерит [19, 20] и лейцит [18], что сближает эти породы с лампроитами. Теоретически образование санидина и лейцита в оранжеитах возможно в результате реакции разложения

флогопита [17]. Такой минеральный состав кимберлитов учтен в классификации, приведенной В. А. Милашевым [11], основанной на петрологическом признаке по параметрам давления и щелочности пород.

**Лампроиты.** В конце XVIII в. в Австралии, в 1897 г. в Лейцит-Хиллс (США), а в 1906 г. в Испании уже были известны редкие по составу и облику породы — орендиты и вайомингиты, слагающие в основном экструзивные тела [21]. Им присваивалось название местности, где они находились, поскольку не имели петрографических аналогов. В 1923 г. термин «лампроит» был предложен П. Ниггли для высококалиевых и магнезиальных лейцитсодержащих пород Испании и Вайоминга, которые характеризовались параметром «Ниггли»\* —  $\#K (K_2O/(K_2O+Na_2O))$  и  $\#Mg (MgO/(MgO+FeO+Fe_2O_3+MnO))$ , равными более 0,80 [21]. В 1924 г. этот термин был применен А. Уэйдом и Р. Прайдером при описании пород одного из районов в Австралии, известного в настоящее время как лампроитовая провинция Западного Кимберли [6]. Однако этими же исследователями были введены и новые названия «фицроит» (флогопит+лейцит), «седрисит» (диопсид + лейцит), «волжидит» (флогопит + диопсид + К-рихтерит+лейцит), «мамилит» (К-рихтерит+лейцит). Только спустя чуть более полувека с момента открытия провинции Западного Кимберли была установлена алмазоносность лампроитов и открыт новый тип коренных источников алмазов — оливиновые лампроиты, образующие месторождения Эллендейл, Западная Кимберли и Аргайл, Восточная Кимберли). Впоследствии в различных районах мира были обнаружены породы, определяемые как лампроиты.

Наиболее детальная и основательная классификация лампроитов представлена Р. Х. Митчеллом и С. К. Бергманом [21], базирующаяся на модификации классификаций предшественников (Sahama, 1974; Barton, 1979; Scott Smith, Skinner, 1982, 1984) и на собственных исследованиях лампроитов в разных регионах мира. В основе этой классификации — породообразующие минералы и набор аксессуарных минералов, что и определяет петрогеохимический состав пород. Авторы установили следующие минералогические и геохимические критерии лампроитов.

Минеральный состав лампроитов 5–90 % включает следующие основные фазы: фенокристаллы флогопита соответствуют титанистым ( $\text{TiO}_2$  2–10 %), бедным алюминием ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  5–12 %) разновидностям; пойкилитовая слюда основной массы — титанистый тетриферрифлогопит ( $\text{TiO}_2$  5–10 %); Ti-K рихтерит ( $\text{TiO}_2$  3–5,  $\text{K}_2\text{O}$  4–6 %); форстерит; диопсид, бедный алюминием ( $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1\%$ ) и натрием ( $\text{Na}_2\text{O} < 1\%$ ); нестехиометрический железистый лейцит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1–4 %); санидин, обогащенный железом (типично для  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1–5 %).

На количественных соотношениях породообразующих минералов основана номенклатура лампроитов [21] (слева — историческое название, справа — пересмотренное):

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| Вайомингит | Диопсид-лейцит-флогопитовый лампроит  |
| Орендит    | Диопсид-санидин-флогопитовый лампроит |
| Мадупит    | Диопсид-мадупитовый лампроит          |
| Седрисит   | Диопсид-лейцитовый лампроит           |

|          |  |
|----------|--|
| Мамилит  | Лейцит-рихтеритовый лампроит                 |
| Волжидит | Диопсид-лейцит-рихтерит-мадупитовый лампроит |
| Фицроит  | Лейцит-флогопитовый лампроит                 |
| Верит    | Гиало-оливин-диопсид-флогопитовый лампроит   |
| Юмиллит  | Оливин-диопсид-рихтерит-мадупитовый лампроит |
| Фортунит | Гиало-энстатит-флогопитовый лампроит         |
| Канкалит | Энстатит-санидин-флогопитовый лампроит       |

Для лампроитов характерны акцессорные минералы прайдерит  $[(K, Ba)(Ti, Fe^{+3})_8O_{16}]$ , вадеит  $(K_4Zr_2Si_6O_{18})$ , апатит, перовскит, магнезиохромит, титанистый магнезиохромит и магнезиальный Ti-Fe магнетит, реже встречаются джеппеит  $[(K, Ba)_2(Ti, Fe^{+3})_8O_{13}]$ , армоколлит  $[(Mg, Fe)Ti_2O_3]$ , шербаковит  $[(Ba, K)(K, Na)Na(Ti, Fe, Nb, Zr)_2Si_4O_{14}]$ , ильменит и энстатит.

Вторичные минералы – анальцим, барит, кварц, разные фазы  $TiO_2$  и цеолиты (обычно богатые барием). Запрещенные минералы для лампроитов – плагиоклаз, мелилит, монтичеллит, нефелин, кальсит, Na-щелочной полевой шпат, содалит, нозеан, гаюин, меланит, шорломит или кимцеит.

Петрогеохимические критерии лампроитов включают следующие положения:  $K_2O/Na_2O > 3$  – ультракалиевые;  $K_2O/Al_2O_3 > 0,8-1$  – агпаитовые;  $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 > 0,7-1$  – ультращелочные;  $\#Mg$  (по Ниггли) = 45–85; K (по Ниггли) > 70 (могут быть более низкие значения вследствие вторичных изменений);  $FeO < 10$  и  $CaO < 10$ ,  $TiO_2$  1–7 %,  $Ba > 2000$  (обычно > 5000),  $Sr > 1000$ ,  $Zr > 500$  и  $La > 200$  ppm, F 0,2–0,8 %.

По мнению авторов классификации, главным петрогенетическим фактором, определяющим сложный состав лампроитов, является разная природа метасоматизированных мантийных источников пород, их глубина и степень частичного плавления, а также предрасположенность расплавов к широкой дифференциации.

О. А. Богатиков, И. Д. Рябчиков, В. А. Кононова, И. Л. Махоткин и др. (1991) определяют лампроиты как «...сообщество (петрохимическая серия) высокомагнезиальных калиевых насыщенных, либо слабонедосыщенных кремнеземом щелочных пород, характеризующихся низким содержанием окислов алюминия и кальция. По содержанию кремнезема их составы варьируют от ультраосновной до средней группы пород. По соотношению глинозема и щелочей выделяются две разновидности лампроитов: агпаитовые и миаскитовые» [8, с. 21, 22]. Лампроиты сложены «...оливином, флогопитом, диопсидом, лейцитом и ортоклазом, могут присутствовать щелочные магнезиально-калиевые амфиболы (калиевый рихтерит, магнезиарфедсонит), ортопироксен», «...количественные соотношения этих минералов могут сильно варьировать вплоть до полного исчезновения некоторых из них». Авторы приводят характерные акцессорные минералы «...прайдерит, вадеит, хромипинелид, реже алмаз» [8, с. 22]. Состав лампроитов, по их мнению, обусловлен «не столько процессами дифференциации... сколько... различием условий образования лампроитов (состояние мантийного источника, характер метасоматических процессов и т. д.), составом их первичных расплавов». В рассматриваемой классификации

лампроиты разделены на три семейства по разным группам – ультраосновные, основные и средние (ориентиты). В соответствии с классификацией было предложено в названиях лампроитов отразить принадлежность пород к определенному семейству и характерный парагенезис минералов – оливин-диопсидовый ультраосновной лампроит и т. д.

В рекомендациях «Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук» [19] классификация лампроитов полностью соответствует вышеприведенной классификации Р. Х. Митчелла.

В связи с устоявшимися принципами номенклатуры и систематики горных пород Н. В. Владыкин (2007) предлагает определять лампроиты на основе их минерального и химического состава независимо от их происхождения и вкладывает в термин следующее понятие: «Лампроиты – это вулканические, субвулканические и интрузивные породы, состоящие из разных соотношений главных шести породообразующих минералов (которые имеют довольно устойчивый химсостав): оливин, клинопироксен, слюда, лейцит, K-щелочной амфибол и K-полевой шпат (санидин). Обязательным является присутствие минимум трех из этих минералов. В зависимости от соотношений минералов лампроитов химсостав породы значительно варьирует:  $SiO_2$  40–65,  $Al_2O_3$  5–12,  $MgO$  30–5,  $K_2O$  3–12 % при  $MgO > CaO$ ,  $K_2O \gg Na_2O$ » [4, с. 50]. Отмечая близость лампроитов к различным породам (кимберлитам, пикритам, щелочным меласиенитам, щелочным базальтоидам), Н. В. Владыкин вводит дополнительные диагностические признаки – запрет натриевых лейкофаз (плагиоклаза и нефелина) и состав породообразующих минералов – «оливин 86–94 % форстеритового минерала, клинопироксен диопсид-салитового ряда, слюда – Fe-флогопит – Ti-флогопит – тетраферрифлогопит, амфибол – ряд K-рихтерит – K-арфедсонит, лейцит содержит обычно FeO 1–4 % и избыток  $SiO_2$ , калишпат – санидин, чисто калиевый, и содержит 0,5–4 % FeO» (с. 50). Акцессорные минералы агпаитовых лампроитов «...хромит, Cr-магнетит, перовскит, титанаты – прайдерит, джеппеит, армоколлит; Zr-Ti-силикаты – вадеит, K-батисит, даванит», а в оливиновых лампроитах «...хромит, Cr-магнетит, перовскит, может быть сфен, апатит и, редко циркон» (с. 51). Н. В. Владыкин предлагает отличать оливиновые лампроиты от кимберлитов по расплавленным включениям: «...в лампроитах во включениях содержатся расплавы более поздних дифференциатов» и отмечает, что для лампроитов нехарактерны пироп и пикроильменит, а ксенолиты мантийных пород являются редкостью. Геохимическим диагностическим признаком лампроитов, по Н. В. Владыкину, являются высокие концентрации Cr 500–3000 и Ni 300–2000 г/т, повышенные содержания Zr, Nb, Ti и цериевых редких земель.

В «Петрографическом кодексе России» (2008) лампроиты определяются как «...сообщество высококалиевых, наиболее высокомагнезиальных среди высококалиевых, богатых летучими компонентами преимущественно гипабиссальных пород со значительными вариациями химического состава. Породы этой серии... характеризуются высокими отношениями  $K_2O/Na_2O (> 3)$ , низкими содержаниями алюминия и кальция и обычно недосыщены кремнеземом» [13, с. 153]. Классификация и номенклатура

лампроитов в этой работе принята по О. А. Богатинову с соавторами (1991) как «...по содержанию кремнезема (от ультраосновных до средних), так и по минералогическим особенностям». Все разновидности лампроитов «...содержат редкие минеральные фазы, такие как К-Тi-рихтерит, прайдерит, вадеит, джеппеит, Fe-ортоклаз, высокожелезистый лейцит и др.». Породы «...наряду с фенокристаллами флогопита, рихтерита, оливина, диопсида, лейцита, санидина и др. ... содержат ... ксенокристаллы и ксенолиты мантийного происхождения». «...Для обозначения видов к названиям семейств прибавляется прилагательное, указывающее на типичные для данного вида породообразующие минералы... например, оливин-флогопитовый ультраосновной лампроит, рихтеритовый орендит и т. д.» (с. 153).

В рассмотренных классификациях лампроитов расхождений практически нет, они отличаются в основном дополнениями – выделение наряду с агпайтовыми [21] и миаскитовых разновидностей, а также деление лампроитов на ультраосновные, основные и средние [8], введение в определение ксенокристаллов и ксенолитов мантийного происхождения [4, 13]. Разногласия в классификациях лампроитов касаются полевого

шпата – либо санидин [4, 13], либо ортоклаз [8, 13], но исследователи едины в том, что он калиевый и железосодержащий.

Сопоставление классификаций кимберлитов и оливиновых лампроитов по минеральному составу позволило выделить ведущие минералы, служащие критериями отнесения пород к тому или иному формационному типу (табл. 1, 2). В кимберлитах группы I широко распространен оливин в виде макрокристаллов, фенокристаллов и микрофенокристаллов или микролитов. Кимберлиты группы II (оранжеиты) содержат макрокристаллы и фенокристаллы флогопит-тетраферрифлогопита и в их основной массе могут присутствовать один или несколько следующих минералов – флогопит, монтичеллит, мелилит, санидин, К-рихтерит, лейцит, а также пиррофанитовый ильменит. Отличительный минеральный признак кимберлитов группы II от оливиновых лампроитов – наличие монтичеллита, мелилита, магматического кальцита.

Автор выражает глубокую благодарность Л. И. Лукьяновой и В. Л. Масайтису за конструктивные замечания в процессе написания работы.

Таблица 1

**Ведущие минералы кимберлитов**

| Минералы                  | Источники                 |                              |         |         |  |                                     |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------|---------|---------|--|-------------------------------------|
|                           | [15]                      | [14]                         | [10]    | [22]    | [20, 19, 13]   | [12]                                |
| <i>Кимберлит группы I</i> |                           |                              |         |         |  |                                     |
| Оливин                    |                           |                              |         | До 50 % |  | +                                   |
| Макрокристаллы            | +                         | +                            | +       |         | +/-  |                                     |
| Фенокристаллы             | +                         | 15–25 %                      | +       |         | +  |                                     |
| Основная масса            |                           | 20–36,8 %                    | +       |         | +  |                                     |
| Флогопит                  | Не характерен, до долей % |                              |         |         |  | +                                   |
| Макрокристаллы            |                           |                              |         |         | Криптогенный   | Ряда бариевый флогопит-киношпиталит |
| Фенокристаллы             |                           | +                            |         |         | +/-  |                                     |
| Основная масса            | +                         |                              |         | +       | Ряда бариевый флогопит-киношпиталит  |                                     |
| Диопсид (основная масса)  |                           | 14–24,6 %                    | До 49 % |         |  |                                     |
| Монтичеллит               |                           | +                            | До 58 % | +       | +  |                                     |
| Кальцит магматический     |                           |                              | До 50 % |         |  |                                     |
| Хромшпинелид              | +                         |                              | +       | +       | +  | +                                   |
|                           |                           |                              |         |         | Тренд Mg-ульвошпинель – Mg-хромит – ульвошпинель – магнетит; редко тренд Mg-хромит – Ti-магнетит | Высокохромистая Mg-шпинель          |
| Пикроильменит             | +                         | +                            | +       | +       | +  | +                                   |
| Пирроп                    | +                         | 0,7–2,3 кг/м <sup>3</sup>    | +       |         | +  | +                                   |
| Алмаз                     | +                         | До промышленных концентраций | +       | +/-     | +/-  | +                                   |

| Минералы  | Источники |   |         |         |              |                               |
|---|-----------|---|---------|---------|--------------|-------------------------------|
|   | [15]      | [14]  | [10]    | [22]    | [20, 19, 13] | [12]                          |
| <i>Кимберлит группы II, или оранжежит, или оранжеит</i> |           |   |         |         |              |                               |
| Оливин<br>Макрокристы<br>Фенокристы<br>Основная масса   | +         | +   | +       | До 50 % | +            |                               |
| Флогопит  | 18 %      |   | 16–73 % |         |              | +                             |
| Макрокристы<br>Фенокристы<br>Основная масса             |           | +   |         | +       | +            | Флогопит – тетраферрифлогопит |
| Диопсид<br>(основная масса)                             | +         | 6–16,9 %                                      | До 40 % | +       | +            | +                             |
| Монтichelлит  | +         | +   | До 41 % | +/–     |              |                               |
| Мелилит   | +         |   |         | +/–     |              |                               |
| Кальцит магматический                                   |           |   | До 25 % |         |              |                               |
| Хромшпинелид  | +         |   | +       | +       | +            | +                             |
| Пикроильменит   | +         | +   | +       |         |              |                               |
| Мп-ильменит   |           |   |         |         | +            | +                             |
| Пироп   | +         | От редких знаков до 0,2 кг/м <sup>3</sup>     | +       |         |              | +                             |
| Алмаз   | +         | От редких знаков до промышленных концентраций | +       | +/–     | +/–          | +                             |
| Санидин   |           |   |         |         | +/–          |                               |
| К-рихтерит  |           |   |         |         | +/–          |                               |

Пр и м е ч а н и е. Серпентин и карбонаты считаются всеми авторами типичными вторичными минералами кимберлитов, поэтому в список характерных минералов не включены. Р. Х. Митчелл выделяет в кимберлитах и первичный серпентин.

Таблица 2

## Ведущие минералы оливиновых лампроитов

| Минералы         | Источники         |  |                                  |
|------------------|-------------------|--|----------------------------------|
|                  | [8, 13]           | [4]  | [12]                             |
| Оливин           | +                 | +  | +                                |
| Флогопит         | +                 | Fe-флогопит – Ti-флогопит – тетраферрифлогопит | Ti-флогопит – тетраферрифлогопит |
| Диопсид          | +/–               | +/–  | +                                |
| Лейцит           | +/–<br>Железистый | +/–<br>Железистый                              | +/–<br>Железистый                |
| Санидин/ортоклаз | +/–<br>Железистый | +/–<br>Железистый                              |                                  |
| К-Ti-рихтерит    | +/–               | +/–  | +                                |
| Алмаз            | +/–               | +/–  | +                                |

Пр и м е ч а н и е. Минеральный состав оливиновых лампроитов, по классификации Р. Х. Митчелла и по рекомендациям «Подкомиссии по систематике изверженных пород МСГН», не приведен, так как этот тип пород отдельно не охарактеризован.

1. Архангельская алмазоносная провинция. Геология, петрография, геохимия и минералогия / под ред. О.А. Богатикова. — М.: Изд-во МГУ, 1999. — 524 с.

2. Атлас текстур и структур кимберлитовых пород / В.П. Корнилова, К.Н. Никишов, В.В. Ковальский, Г.В. Зольников. — М.: Наука, 1983. — 157 с.

3. Благулькина В.А. Петрохимические типы кимберлитов Сибири // Советская геология. 1969. № 7. — С. 60–70.

4. Владыкин Н.В. Формационные типы лампроитовых комплексов — систематика и химизм // Щелочной магматизм, его источники и плюмы. — Иркутск, 2007. — С. 48–74.

5. Гапеева Г.М. Положение кимберлитов в генетической классификации горных пород // Бюлл. ВСЕГЕИ. 1958. № 1. — С. 137–139.

6. Дзжейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 430 с.

7. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 479 с.

8. Лампроиты / О.А. Богатиков, И.Д. Рябчиков, В.А. Кононова, И.Л. Махоткин и др. — М.: Наука, 1991. — 302 с.

9. Ланда Э.А. Метасома-магматическая система ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов // Измененные породы и их поисковое значение / под ред. акад. Д.С. Коржинского. — М.: Недра, 1981. — С. 238–249.

10. Мальков Б.А. Геология и петрология кимберлитов. — СПб.: Наука, 1997. — 282 с.

11. Милашев В.А. Геология кимберлитов. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2010. — 334 с. (Труды ВНИИОкеангеология. Т. 217).

12. Минерогения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты) / С.В. Белов, А.В. Лапин, А.В. Толстов, А.А. Фролов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 537 с.

13. Петрографический кодекс России: Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. 2-е изд. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. — 200 с.

14. Сарсадских Н.Н., Благулькина В.А. Петрографические и петрогенетические отличия кимберлитов от пород, сходных с ними по некоторым признакам // Зап. ВМО. 1969. Ч. 98. Вып. 1. — С. 415–421.

15. Францессон Е.В. Петрология кимберлитов. — М.: Недра, 1968. — 200 с.

16. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. — М.: Недра, 1998. — 555 с.

17. Fleet M.E. Rock-forming Minerals: Micas. — London: Publ. by the Geol. Soc., 2003. — 780 p.

18. Howarth G.H., Michael E., Skinner W., Prevec S.A. Petrology of the hypabyssal kimberlite of the Kroonstad group II kimberlite (orangeite) cluster, South Africa: Evolution of the magma within the cluster // Lithos. 2011. Vol. 125 (1–2). — P. 795–808.

19. Igneous rocks a Classification and Glossary of Terms // Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks / ed. by R.W. Le Meitre. — Cambridge Univ. Press, 2002. — 236 p.

20. Mitchell R.H. Kimberlite, orangeites and related rocks. — New York: Plenum Press, 1995. — 410 p.

21. Mitchell R.H., Bergman S.B. Petrology of lamproites. — New York: Plenum Press, 1991. — 472 p.

22. Skinner E.M.W. Contrasting group I and group II kimberlite petrology: towards a genetic model for kimberlites // Kimberlites and Related Rocks: Proceedings of 4th International Kimberlite Conference / ed. by J. Ross et al. — Geol. Soc. Aust. Spec. Publ., 1989. Vol. 1. — P. 528–544.

23. Skinner E.M.W., Mahotkin I.L., Grutter H.S. Melilite in kimberlites // Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference. — Cape Town, 1999. Vol. 2. — P. 788–794.

24. Smith C.B., Gurney J.J., Skinner E.M., Clement C.R., Ebrahim N. Geochemical character of Southern African kimberlites: a new approach based on isotopic constraints // Transactions of the Geol. Soc. of South Africa. — 1985. Vol. 88. Pt. 2. — P. 267–280.

1. Arhangel'skaya amazonosnaya provinciia. Geologiya, petrografiya, geohimiya i mineralogiya [The Arkhangel'sk diamondiferous province. Geology, petrography, geochemistry and mineralogy]. Ed. by O.A. Bogatkov. Moscow: Izd-vo MGU. 1999. 524 p.

2. Atlas tekstur i struktur kimberlitovykh porod [Atlas of textures and structures of kimberlite rocks]. Eds. by V.P. Kornilov, K.N. Nikishov, V.V. Koval'skij, G.V. Zol'nikov. Moscow: Nauka. 1983. 157 p.

3. Blagul'kina V.A. Petrochemical types of Siberian kimberlites. *Sovetskaya geologiya*. 1969. No 7, pp. 60–70. (In Russian).

4. Vladykin N.V. Formational types of lamproite complexes — taxonomy and chemistry. *Alkaline magmatism, its sources and plumes*. Irkutsk. 2007. Pp. 48–74. (In Russian).

5. Gapeeva G.M. The situation of kimberlites in the genetic classification of rocks. *Byulleten' VSEGEI*. 1958. No 1. Pp. 137–139. (In Russian).

6. Dzhejks A., Luis Dzh., Smit K. Kimberlity i lamproity Zapadnoj Avstralii [Kimberlites and lamproites of Western Australia]. Moscow: Mir. 1989. 430 p.

7. Zavarickij A.N. Izverzhennye gornye porody [Igneous rocks]. Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1955. 479 p.

8. Lamproity [Lamproites]. Eds. by O.A. Bogatkov, I.D. Ryabchikov, V.A. Kononova, I.L. Mahotkin et al. Moscow: Nauka. 1991. 302 p.

9. Landa Eh.A. Metasoma-magmatic system of ultrabasic-alkaline rocks and carbonatites. *Modified rocks and their search significance*. Ed. by Academician D.S. Korzhinskij. Moscow: Nedra. 1981. Pp. 238–249. (In Russian).

10. Mal'kov B.A. Geologiya i petrologiya kimberlitov [Geology and petrology of kimberlites]. St. Petersburg: Nauka. 1997. 282 c.

11. Milashev V.A. Geologiya kimberlitov [Geology of kimberlites]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya. 2010. 334 p. (Trudy VNIIOkeangeologiya. T. 217).

12. Minerogeniya platformennogo magmatizma (trappy, karbonatity, kimberlity) [Minerogeny of platform magmatism (traps, carbonatites, kimberlites)]. Eds. by S.V. Belov, A.V. Lapin, A.V. Tolstov, A.A. Frolov. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. 2008. 537 p.

13. Petrograficheskij kodeks Rossii: Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impektne obrazovaniya. 2-e izd. [Petrographic Code of Russia: Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formation. 2nd ed.]. St. Petersburg: Izd-vo. 2008. 200 p.

14. Sarsadskih N.N., Blagul'kina V.A. Petrographic and petrogenetic differences of kimberlites from rocks that are similar to them by some features. *Zapiski VMO*. 1969. Pt. 98. Iss. 1, pp. 415–421. (In Russian).

15. Francesson E.V. Petrologiya kimberlitov [Petrology of kimberlites]. Moscow: Nedra. 1968. 200 p.

16. Har'kiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Korennye mestorozhdeniya almazov mira [Native diamond deposits of the world]. Moscow: Nedra. 1998. 555 p.

17. Fleet, M.E. 2003: Rock-forming Minerals: Micas. London: Publ. by the Geol. Soc. 780.

18. Howarth, G.H., Michael, E., Skinner, W., Prevec, S.A. 2011: Petrology of the hypabyssal kimberlite of the Kroonstad group II kimberlite (orangeite) cluster, South Africa: Evolution of the magma within the cluster. *Lithos*. Vol. 125 (1–2). 795–808.

19. Le Meitre, R.W. (ed). 2002: Igneous rocks a Classification and Glossary of Terms. *Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge Univ. Press. 236.

20. Mitchell, R.H. 1995: Kimberlite, orangeites and related rocks. New York: Plenum Press. 410.

21. Mitchell, R.H., Bergman, S.B. 1991: Petrology of lamproites. New York: Plenum Press. 472.

22. Skinner, E.M.W. 1989: Contrasting group I and group II kimberlite petrology: towards a genetic model for kimberlites. In Ross, J. (ed.): *Kimberlites and Related Rocks: Proceedings of 4th International Kimberlite Conference. Geol. Soc. Aust. Spec. Publ., vol. 1.* 528–544.

23. Skinner, E.M.W., Mahotkin, I.L., Grutter, H.S. 1999: Melilite in kimberlites. *Proceedings of the 7th International Kimberlite Conference. Vol. 2.* Cape Town. 788–794.

24. Smith, C.B., Gurney, J.J., Skinner, E.M., Clement, C.R., Ebrahim, N. 1985: Geochemical character of Southern African kimberlites: a new approach based on isotopic constraints. *Transactions of the Geol. Soc. of South Africa. Vol. 88. 2.* 267–280.

---

*Голобурдина Марина Николаевна* – геолог, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <Marina\_Goloburdina@vsegei.ru>

*Goloburdina Marina Nikolaevna* – geologist, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny prospect, St. Peterburg, 199106, Russia. <Marina\_Goloburdina@vsegei.ru>