

УДК 549.514.81:552.323.6

С.Н. Цымбал¹, А.А. Кременецкий², В.Б. Соболев³, Ю.С. Цымбал¹

¹ Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеново НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: tymbal@igmof.gov.ua

² Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов РАН
г. Москва, Россия, ул. Вересаева, 15

³ Технический центр НАН Украины
г. Киев, Украина, ул. Покровская, 13

МИНЕРАЛЫ ЦИРКОНИЯ ИЗ КИМБЕРЛИТОВ НОВОЛАСПИНСКИХ ТРУБКИ И ДАЙКИ (ЮГО-ВОСТОК УКРАИНСКОГО ЩИТА)

Кимберлиты представлены слюдистой разновидностью диатремовой и гипабиссальной фаций. По геологическим данным возраст их среднедевонский. В них обнаружены и изучены циркон, бадделеит, цирконолит и кальциртит. Установлено, что эти минералы кристаллизовались из кимберлитового расплава на разных этапах его эволюции: циркон — на протоматическом, бадделеит, цирконолит и кальциртит — на позднемагматическом. Циркон по составу близок к цирконам кимберлитового типа из других регионов. Для него характерно низкое содержание U, Th и РЗЭ, $\text{HfO}_2 = 1,2\text{--}1,8\%$, $\epsilon_{\text{Hf}} = 8\text{--}10$. Изотопный возраст индивидуальных зерен циркона варьирует от 469 ± 25 до 382 ± 33 млн лет. Исходя из этого сделан вывод, что формирование протокимберлитового расплава и сингенетичного ему циркона началось в позднем ордовике, а внедрение в земную кору произошло в среднем девоне. На макрофенокристах циркона развиты реакционные каймы, сложенные микрокристаллами бадделеита (преобладают), промежутки между которыми выполнены продуктами изменения оливина, диопсидом и, в небольших количествах, сфеном, фторапатитом и кальцитом. Приведен состав этих минералов. Температура образования диопсида составляет от 850 до 750 °С. В основной массе кимберлитов выявлены микрокристаллы бадделеита, цирконолита и кальциррита. Они образовались при взаимодействии остаточного кимберлитового расплава-флюида с ранее выделившимися цирконийсодержащими перовскитом, титаномagnetитом и сфеном и за счет высвободившегося из них циркония. Бадделеит из основной массы отличается от бадделеита из реакционных кайм на макрокристаллах циркона несколько более высоким содержанием ZrO_2 , FeO и CaO, более низким — HfO_2 , TiO_2 , РЗЭ, отсутствием зависимости между FeO и TiO_2 , большим значением Zr/Hf. Приведены результаты микрозондового анализа бадделеита, цирконолита и кальциррита.

Введение. Во многих кимберлитовых телах из разных провинций мира известны находки циркона и других циркониевых минералов. Их содержание составляет обычно меньше 1 г/т и только иногда достигает 25—50 г/т [6—8, 20]. Циркон установлен и в ксенолитах некоторых мантийных пород из кимберлитов — пироповых перидотитов, ильменит-амфиболовых пироксенитов, рутил-ильменитовых эклогитов,

рутил-флогопитовых пород [2, 3, 7, 18]. Его включения найдены и в алмазах [19]. В то же время сами цирконы иногда содержат включения минералов мантийных парагенезисов — оливина, хромдиопсида, хромшпинелидов, пикроильменита, флогопита.

В отношении происхождения циркона, обнаруженного в кимберлитах, нет единой точки зрения. Одни исследователи считают его ксеногенным минералом, попавшим в кимберлит в результате дезинтеграции цирконсодержащих мантийных и коровых пород. Другие допускают возможность образования циркона и циркониевых минералов непосредственно

В качестве исключения статья опубликована в объеме, превышающем редакционные требования.

© С.Н. ЦЫМБАЛ, А.А. КРЕМЕНЕЦКИЙ,
В.Б. СОБОЛЕВ, Ю.С. ЦЫМБАЛ, 2011



Рис. 1. Схема расположения Новоласпинских кимберлитовой трубки и дайки: 1 — контур Украинского щита и его Приазовского мегаблока (косая штриховка); 2 — положение кимберлитовых тел, в том числе Новоласпинских трубки и дайки (показано стрелкой); 3 — форма трубки (а) и дайки (б) на дочетвертичном эрозионном срезе (по данным Приазовской геологической экспедиции)

Fig. 1. Scheme of location of Novolaspinsk kimberlite pipe and dike: 1 — the outline of the Ukrainian Shield and its Azov megablocks (sloping hastening); 2 — location of kimberlite bodies, including Novolaspinsk pipe and dike (shown by arrow); 3 — the form of Novolaspinsk pipe (a) and dike (b) on tectonically eroded section (by data of Azov geological expedition)

из кимберлитового расплава на разных этапах его эволюции. В этой связи любые новые данные о цирконе и циркониевых минералах из кимберлитов представляют большой интерес для специалистов в области минералогии, петрологии и геохимии верхней мантии.

В последние годы цирконы кимберлитового типа [13], а затем бадделлит, цирконолит, кальциртит [23] были идентифицированы в кимберлитах Новоласпинской трубки и сопряженной с ней дайки, расположенных в восточной части Приазовского мегаблока Украинского щита (рис. 1).

На дочетвертичном эрозионном срезе трубка имеет форму эллипса размером 100×40 м. Она изучена по результатам бурения до глубины более 100 м. Дайка мощностью от 5 до 10 м прослежена на юго-запад от трубки почти на 300 м и разбурена до глубины 75 м. Вмещающими породами для них служат граниты, граносиениты и сиениты хлебодаровского комплекса палеопротерозоя.

Кимберлиты представлены слюдяной (флогопитовой) разновидностью диатремовой и гипабиссальной фаций. Возраст их — конец среднего девона. Эруптивные брекчии ким-

берлитов развиты обычно в краевых частях трубки, массивные порфиоровые кимберлиты — в центральных частях трубки и в дайке. Вблизи поверхности кимберлиты сильно изменены гипергенными процессами, что значительно усложняет их исследование.

Кимберлиты обоих типов гетерогенны по составу. В них обломки мантийных и коровых пород, а также их минералов сцементированы продуктами кристаллизации собственно кимберлитового расплава, слагающими так называемый матрикс или основную массу.

Среди мантийных ксенолитов, согласно минералого-петрографическим данным, преобладают пироповые дуниты и гарцбургиты, пироп-хромшпинелевые лерцолиты и пикроильменит-флогопитовые перидотиты, а среди ксенокристов — пикроильменит, хромит и алюмохромит, пироп, хромдиопсид, флогопит и оливин, почти полностью замещенный серпентином или монтмориллонитом. Многие ксенокристы и ксенолиты глубинных пород имеют реакционные контакты с кимберлитом — цементом.

Матрикс кимберлитов состоит в основном из оливина, флогопита и кальцита, соотношение между которыми существенно варьирует даже на небольших участках. Вместе с ними в состав матрикса входят в разных количествах Mg- и Mn-ильменит, перовскит, сфен, рутил, титаномагнетит, апатит, сульфиды, а также бадделлит, кальциртит, цирконолит, редкоземельно-титановый оксид и др.

С помощью микронзондового анализа установлена повышенная концентрация ZrO_2 в перовските (0,23—0,57 %), сфене (0,18—0,81), рутиле (0,3—0,7), редкоземельно-титановом оксиде (0,1—0,45, иногда до 1,3 %). Кроме того, Zr — характерная примесь ксенокристов минералов глубинных парагенезисов, постоянно встречающихся в кимберлитах Приазовья. По данным [9—12], его содержание в пиробах из трубки Южная составляет, г/т: 24—153, в пикроильменитах — 349—930 и больше, в хромдиопсидах — 10—80, иногда до 117, в хромшпинелидах — 1,9—7,8. Близкие значения концентрации Zr определены в одноименных минералах из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, а в продуктах обогащения этих кимберлитов найдены сравнительно крупные (до 2—3 мм) цирконы с реакционными каймами, сложенными в том числе и бадделлитом.

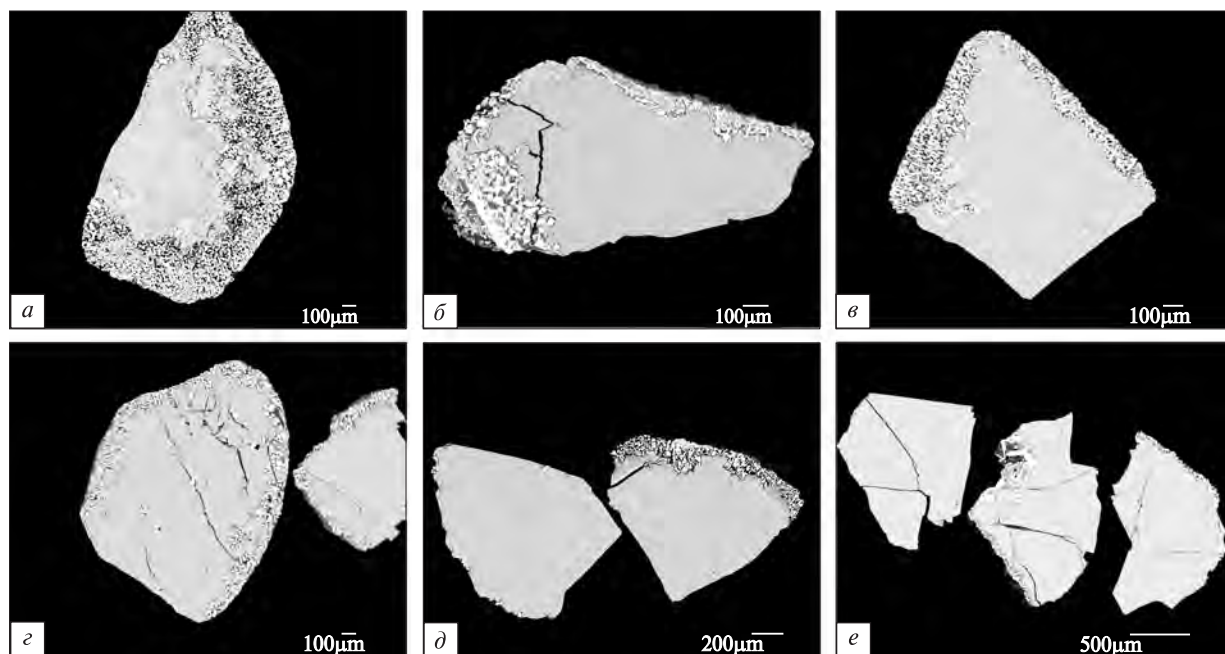


Рис. 2. Полированные срезы макрокристов циркона с реакционными каймами и "залеченными" трещинами: *a–c* — трубка Новоласпинская; *d, e* — дайка Новоласпинская. Здесь и далее изображение минералов в отраженных электронах на микрозонде JXA-8200

Fig. 2. Polished sections of macrocrysts of zircon with reactionary rims and sealed cracks: *a–c* — Novolaspinsk pipe; *d, e* — Novolaspinsk dike. Here and further presentation of minerals in reflected electrons on microprobe JXA-8200

Анализ валовых проб кимберлитов, изученных с помощью *ICP MS*, показал, что в трубке содержание Zr колеблется от 392 до 580 г/т, в дайке — от 425 до 494. Это на порядок больше содержания циркона в кимберлитах. Отсюда напрашивается вывод, что главными концентраторами Zr в кимберлитах служат другие его минеральные формы.

Аналитические методы. Обнаружение циркона в концентратах обогащения кимберлитов проводили путем просмотра под бинокулярным микроскопом тяжелой неэлектромагнитной субфракции с плотностью >4 г/см³. Цирконы кимберлитового типа представляют собой обломки неправильной формы с характерными реакционными каймами желтовато- и серовато-белого цвета. Поиск циркониевых минералов в основной массе кимберлитов осуществляли в аншлифах кимберлитов после напыления их углеродом. Для этой цели использовали электронно-зондовый прибор JXA-8200 фирмы Jeol (Япония), имеющийся в Техническом центре НАН Украины. На нем же определяли состав циркониевых и других минералов. Условия анализа: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока зонда 10 нА, диаметр зонда 1–5 мк, время накопления сигнала

— 20–30 с. Эталонами служили химически чистые оксиды металлов, синтетические материалы и отдельные природные минералы.

U-Pb датирование цирконов проведено с помощью *SHRIMP II* в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург, Россия). Зерна циркона, помещенные в эпоксидную смолу, были отшлифованы и хорошо отполированы. Точки для анализа выбраны с учетом внутреннего строения зерен и особенностей их катодолюминесценции. Интенсивность пучка отрицательно заряженных ионов кислорода 4 нА, диаметр кратера — 25 мк. Содержание U, Th и ²⁰⁶Pb, состав, содержание РЗЭ и отношение ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf определяли с помощью *LA ICP-MS*. Для обработки результатов изотопных исследований использованы программы *SQUID* и *ISOPLOT/EX*. U/Pb отношения нормализованы на величину 0,668, которая соответствует возрасту циркона стандарта *TEMORA* — 416,75 млн лет.

Результаты исследований. Циркон обнаружен в продуктах обогащения кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки. Он представлен светло-розовыми и почти бесцветными зернами неправильной формы размером до 2–3 мм.

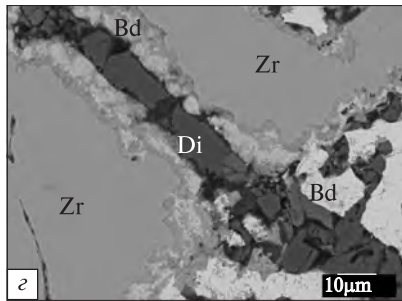
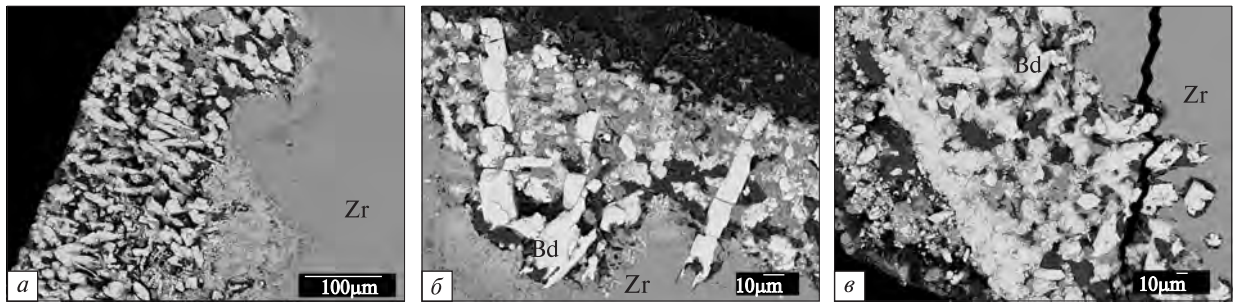


Рис. 3. Структура реакционных кайм, развитых по краям (а–е) и трещинам (z) макрокристов циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки (детализация). Bd — бадделейт, Di — диопсид, Zr — циркон

Fig. 3. Details of structure of reactionary rims developed on macrocrysts of zircon from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike (specification). Bd — baddeleyite, Di — diopside, Zr — zircon

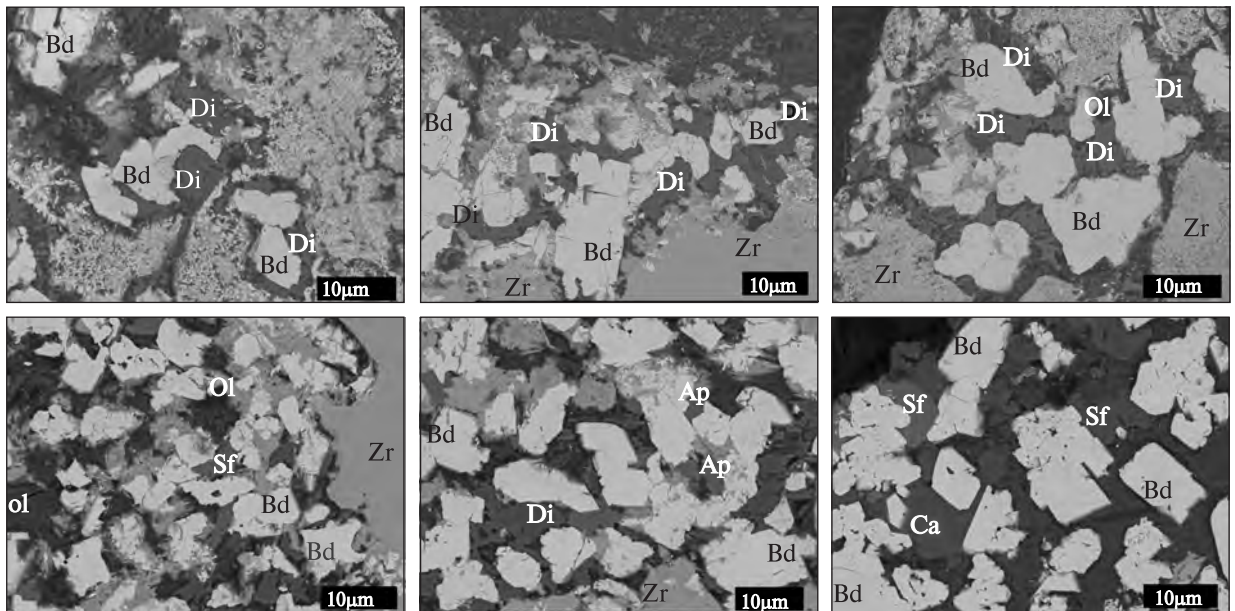


Рис. 4. Распространение и морфология зерен диопсида, сфена, апатита и кальцита в реакционных каймах на цирконах из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки. Ap — апатит, Bd — бадделейт, Ca — кальцит, Di — диопсид, Ol — оливин, Sf — сфен, Zr — циркон

Fig. 4. Distribution and morphology of the grains of diopside, sphene, apatite and calcite in reactionary rims on zircons from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike. Ap — apatite, Bd — baddeleyite, Ca — calcite, Di — diopside, Ol — olivine, Sf — sphene, Zr — zircon

На большинстве их имеются реакционные каймы серовато-желтого и светло-серого цвета (рис. 2–4). Толщина кайм на разных и даже одних и тех же зернах значительно изменяется. Иногда каймы составляют более половины объема зерен. Границы их с цирконом-матрицей неровные, часто сильно извилистые и глубоко проникающие по трещинам.

Трещины преимущественно прямолинейные, разнонаправленные и разные по ширине. В большинстве своем они тонкие и делят зерна циркона на два-три разновеликих блока. Сравнительно широкие трещины встречаются редко и, как правило, выполнены ("залечены") диопсидом, иногда диопсидом с кальцитом и бадделейитом, по составу идентичным

таковым из реакционных кайм, развитых на зернах циркона. Причем отдельные блоки этих зерен не смещены относительно друг друга. Судя по особенностям трещин, они возникли в результате растрескивания зерен циркона под влиянием высокотемпературного и химически агрессивного кимберлитового расплава, обогащенного калием, фтором и карбонатной составляющей. Зерна циркона находились в неравновесном состоянии с этим расплавом-флюидом, о чем свидетельствует наличие на них реакционных кайм сложного строения и состава. В большинстве случаев зерна циркона вблизи трещин изменены слабо. Некоторые трещины разрывают уже сформированные реакционные каймы и выполнены кальцитом. Образование их происходило, видимо, на заключительном этапе становления кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки.

Состав макрокристов циркона близок к теоретическому (табл. 1). По данным микрозондового анализа, содержание основных компонентов в нем таково, %: ZrO_2 — 64,7–66,3; SiO_2 — 32,0–32,7; HfO_2 — 1,2–1,8. Отношение $Zr/Hf = 31–46$. Для сравнения укажем, что величина этого отношения в цирконах из кимберлитов Якутии варьирует от 33 до 51 [6]. В некоторых цирконах есть незначительные примеси FeO (до 0,08 %), TiO_2 (до 0,05) и CaO (до 0,03). Для изученных цирконов характерно низкое содержание Y_2O_3 (до 0,07 %), U (4–60 г/т), Th (1–42) и $PЗЭ$ (11,3–37,5 г/т). Между Th и U существует отчетливая положительная зависимость (рис. 5). Отношение Th/U изменяется от 0,25 до 0,70, в среднем 0,40 по 21 определению. Наибольшая концентрация Th и U наблюдалась в тех частях зерен цирко-

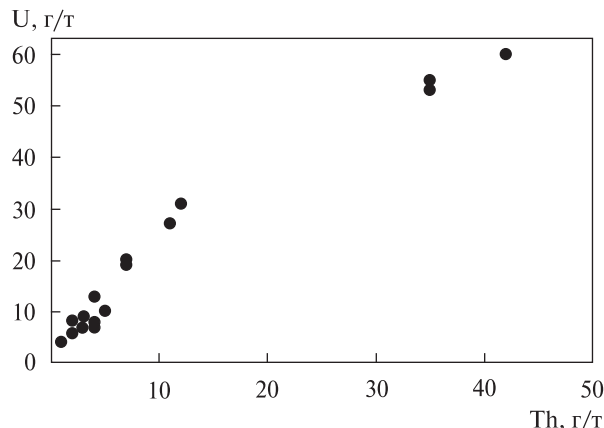


Рис. 5. Диаграмма U-Th для цирконов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки

Fig. 5. U-Th diagram for zircons from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike

на, которые расположены вблизи реакционных кайм и, видимо, испытали более сильное влияние кимберлитового расплава-флюида, чем их центральные части.

Как видно из табл. 2, среди $PЗЭ$ преобладают тяжелые лантаноиды (Dy — 2,1–6,9 г/т; Er — 2,2–8,1; Yb — 3,6–12,6), а среди легких лантаноидов — Ce (0,6–1,5) и Sm (0,28–0,83 г/т). На спектрах нормированного по хондриту распределения $PЗЭ$ хорошо проявлена положительная аномалия Ce , свойственная цирконам из глубинных парагенезисов, и очень слабо выражена положительная аномалия Eu (рис. 6). Наличие аномалии, обусловленной Ce^{4+} , Е.А. Белоусова и др. [15] рассматривают как показатель образования циркона в среде с низкой фугитивностью кислорода.

Измеренные отношения изотопов $^{176}Hf/^{177}Hf$ в макрокристаллах циркона из кимберлитов Но-

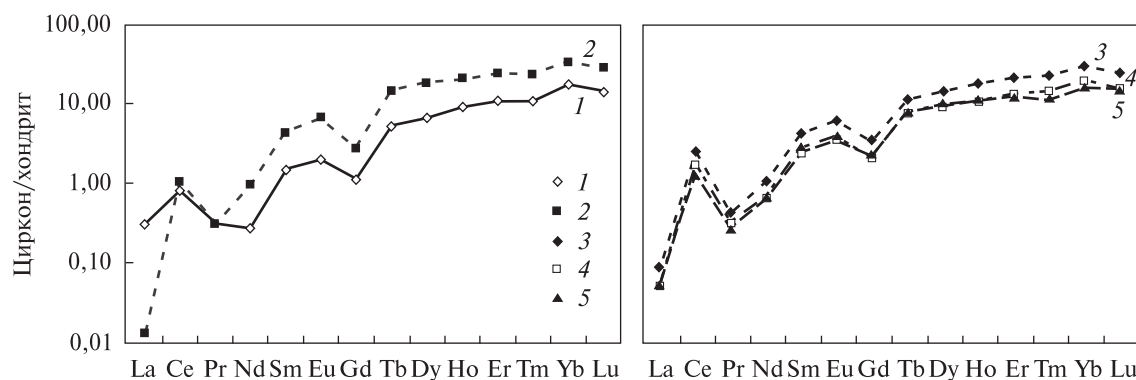


Рис. 6. Спектры нормированного по хондриту распределения $PЗЭ$ в цирконах из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки. Номера спектров соответствуют номерам анализов из табл. 2

Fig. 6. REE distribution patterns normalized on chondrite in zircons from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike. Numbers of pattern corresponds to number of analyses from Table 2

воласпинских трубки и дайки изменяются, соответственно, в пределах 0,282704—0,282799 и 0,282737—0,282767 (табл. 3). ϵHf варьирует от +8,0 до +10,1. Близость величин изотопных отношений $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ в разных индивидуальных зернах циркона из изученных трубки и дайки позволяет предполагать, что они являются не ксено-, а фенокристами и образовались из общего протокимберлитового расплава. Судя по величине ϵHf и низкому содержанию U, Th, Y и PЗЭ в цирконах, этот расплав сформировался в результате частичного плавления значительно деплетированных пород верхней мантии.

U-Pb изотопный возраст цирконов определен по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, измеренному с помощью ионного микронзонда *SHRIMP* II. Датировано пять зерен циркона из кимберлитовой трубки Новоласпинская (скв. 293/16, гл. 74,0—87,0 м — 10 определений) и пять зе-

рен циркона из одноименной дайки (скв. 396/9, гл. 29,0—54,5 м — 11 определений). Как видно из табл. 4 и рис. 7, возраст циркона колеблется от 382 ± 33 до 469 ± 25 млн лет. Привлекает внимание то, что из 21 определения только одно дало значение 382 ± 33 млн лет, все остальные — больше 406 млн лет. Более древний возраст имеют преимущественно центральные части зерен циркона, более молодой — краевые, расположенные ближе к реакционным каймам и, как правило, более обогащенные U, Th и радиогенным Pb. Подавляющая часть полученных возрастных дат цирконов имеет конкордантные значения.

Следует особо подчеркнуть, что почти все макрокристы циркона из Новоласпинских трубки и дайки значительно древнее геологического возраста содержащих их кимберлитов. По Rb-Sr изохронным данным возраст последних составляет $382,3 \pm 3,8$ млн лет [14].

Таблица 1. Химический состав макрокристных цирконов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, %

Table 1. Chemical composition of zircon macrocrysts from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike, %

Зерно	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	HfO ₂	Y ₂ O ₃	ThO ₂	Ta ₂ O ₅	FeO	CaO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃
<i>Трубка Новоласпинская, скв. 293/16, гл. 74,0—87,0 м</i>														
1ц	32,36	0,00	65,31	1,64	0,00	0,00	0,04	0,08	0,00	0,16	0,00	0,10	0,05	0,00
2ц	32,35	0,04	65,66	1,41	0,00	0,01	0,13	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
3ц	32,24	0,00	65,68	1,45	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00
4ц	32,32	0,05	65,61	1,54	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,06	0,03
4к	32,40	0,04	66,32	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
5ц	32,25	0,00	65,94	1,28	0,01	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
5к	32,35	0,00	65,19	1,40	0,00	0,00	0,24	0,00	0,03	0,07	0,00	0,01	0,07	0,00
6ц	32,74	0,01	65,14	1,48	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,07
7ц	32,62	0,01	65,33	1,36	0,02	0,00	0,19	0,03	0,01	0,00	0,03	0,02	0,05	0,00
8ц	31,96	0,00	65,64	1,84	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
9ц	32,03	0,02	65,69	1,49	0,01	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10
10ц	32,38	0,00	66,07	1,55	0,03	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00
11ц	32,09	0,00	65,86	1,50	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,06	0,01
11к	32,55	0,00	65,73	1,34	0,05	0,03	0,00	0,07	0,00	0,00	0,11	0,00	0,05	0,00
<i>Дайка Новоласпинская, скв. 396/9, гл. 29,0—54,5 м</i>														
1ц	31,95	0,02	66,21	1,44	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
2ц	32,72	0,00	65,30	1,67	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,07	0,02
4ц	32,64	0,00	65,63	1,42	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
5ц	32,32	0,00	65,40	1,50	0,00	0,00	0,18	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,08	0,04
6ц	32,56	0,00	65,57	1,70	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,02
7ц	32,70	0,00	65,44	1,44	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,05	0,00	0,00	0,08	0,00
8ц	32,63	0,02	65,35	1,72	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,00
9ц	32,36	0,00	64,72	1,65	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
10ц	32,28	0,00	64,98	1,47	0,02	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,13	0,04	0,00
12ц	32,31	0,00	65,59	1,26	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03	0,00	0,00
14ц	32,33	0,03	66,10	1,65	0,02	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	0,09	0,05	0,00	0,00

Примечание. ц — центр, к — край зерна.

Большинство возрастных датировок цирконов отражают не время внедрения кимберлитов, а время формирования и эволюции протокимберлитового расплава и сингенетичного ему циркона.

В одном из макрокристов флогопита размером до 1 см, имеющего К-Аг возраст $598 \pm \pm 6$ млн лет, нами обнаружено около 20 микрокристаллов циркона, окруженных плеохроичными двориками. К сожалению, они пока не датированы U-Pb методом. Тем не менее их наличие свидетельствует о том, что протокимберлитовый расплав уже изначально содержал цирконий, необходимый для образования циркониевых и цирконийсодержащих минералов, в большом количестве.

Таким образом, можно утверждать, что изученные макрокристы циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки не являются ксеногенным минералом. Приведенные

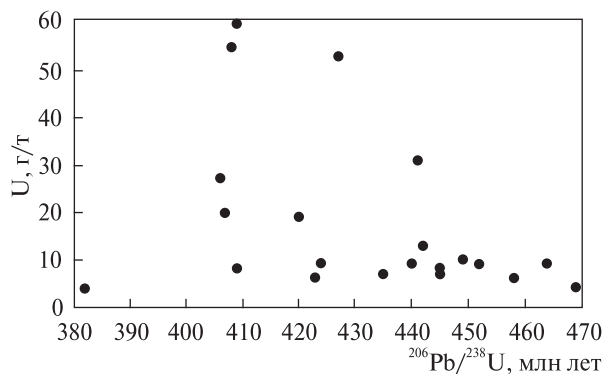


Рис. 7. Зависимость значений U-Pb возраста цирконов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки от содержания в них U

Fig. 7. Dependence between U-Pb age values of zircons from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike and contents of U in them

Таблица 2. Содержание РЗЭ в макрокристах циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки (1, 2) и дайки (3–5), г/т

Table 2. Content of REE in zircon macrocrysts from kimberlites of Novolaspinsk pipe (1, 2) and dike (3–5), ppm

Элемент	1	2	3	4	5
La	0,093	0,004	0,006	0,003	0,003
Ce	0,660	0,832	1,551	0,971	0,636
Pr	0,038	0,037	0,020	0,014	0,011
Nd	0,162	0,563	0,356	0,199	0,191
Sm	0,287	0,831	0,796	0,377	0,470
Eu	0,143	0,493	0,508	0,241	0,272
Gd	0,288	0,712	0,783	0,413	0,458
Tb	0,243	0,685	0,769	0,452	0,460
Dy	2,103	5,882	6,960	3,929	4,425
Ho	0,646	1,474	2,174	1,089	1,119
Er	2,244	5,051	8,101	4,371	3,789
Tm	0,343	0,765	1,348	0,756	0,523
Yb	3,664	6,992	12,657	7,290	5,527
Lu	0,459	0,919	1,448	0,822	0,750

выше данные позволяют считать их протокимберлитовыми фенокристами, ассоциирующими с макро- и мегакристами пикроильменита, а также с макрокристами оливина и флогопита. По многим особенностям состава изученные цирконы подобны цирконам из кимберлитов других регионов, охарактеризованных в работах И.П. Илупина и И.Т. Козлова [6], Р. Крестен и др. [20], А.А. Краснобаева [7], У. Шерер и др. [22], Е.А. Белоусовой и др. [15] и других исследователей.

Реакционные каймы на макрокристах циркона. Как уже подчеркивалось, на макрокристных

Eu ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Сумма
0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	99,78
0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,13	99,80
0,08	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	99,69
0,00	0,02	0,00	0,13	0,11	0,00	0,00	99,96
0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,08	0,10	100,43
0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,62
0,00	0,02	0,14	0,15	0,07	0,17	0,01	99,92
0,00	0,00	0,00	0,08	0,07	0,00	0,00	99,74
0,04	0,07	0,00	0,03	0,06	0,00	0,04	99,89
0,00	0,05	0,00	0,06	0,03	0,03	0,00	99,75
0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,09	0,05	99,64
0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	100,28
0,00	0,04	0,02	0,01	0,00	0,08	0,04	99,80
0,05	0,00	0,02	0,03	0,00	0,15	0,02	100,20
0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	99,74
0,06	0,06	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	99,99
0,00	0,00	0,04	0,10	0,00	0,00	0,08	99,98
0,00	0,08	0,00	0,11	0,00	0,09	0,21	100,06
0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,16	0,01	100,39
0,00	0,02	0,03	0,00	0,10	0,00	0,16	100,09
0,05	0,00	0,07	0,00	0,07	0,01	0,11	100,18
0,00	0,12	0,00	0,14	0,10	0,00	0,00	99,19
0,00	0,00	0,00	0,10	0,04	0,01	0,09	99,27
0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	99,68
0,02	0,05	0,05	0,00	0,00	0,06	0,04	100,57

цирконах из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки широко развиты реакционные каймы. Выделяются две разные по строению и составу части кайм — внутренняя и внешняя (рис. 2, 3).

Внутренняя часть каймы обычно микрокристаллическая. Состав ее изменяется в широких пределах, но преобладают те же компоненты, что и в цирконе — ZrO_2 , SiO_2 и HfO_2 . Однако соотношение между этими оксидами

Таблица 3. Изотопный состав Hf в макрокристаллах циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки
Table 3. Isotopic composition of Hf in zircon macrocrystals from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike

Объект	Проба циркона	$^{176}Hf/^{177}Hf$ (измерения)	$\pm 2\sigma$	Возраст, млн лет	$^{176}Hf/^{177}Hf$ (пересчитано на возраст)	ϵHf	T_{DM} , млн лет
Трубка Новоласпинская	293—16.2	0,282799	0,000028	382 ± 33	0,282813	9,9	606
	293—16.3	0,282704	0,000049	449 ± 15	0,282718	8,0	737
Дайка Новоласпинская	396—9.6	0,282767	0,000031	445 ± 43	0,282781	10,1	725
	396—9.9	0,282748	0,000034	406 ± 24	0,282762	8,6	676
	396—9.8	0,282737	0,000029	410 ± 25	0,282751	8,3	692

Примечание. Анализы выполнены в ЦИИ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского.

Таблица 4. U-Pb возраст цирконов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, млн лет
Table 4. U-Pb age of zircon from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike, Ma

Номер ана- лиза	U зерна	Th г/г	Th/U	$^{206}Pb_C$	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$, г/г	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{238}U/^{206}Pb$	\pm , %	$^{207}Pb/^{206}Pb$	\pm , %	$^{207}Pb^*/^{235}U$	\pm , %	$^{206}Pb^*/^{238}U$	\pm , %	
<i>Новоласпинская трубка</i>																
1	1	4	1	0,25	17,33	0,30	0,35	382 ± 33	10,61	3,4	0,303	9,5	2,00	75	0,077	20,0
2	2	10	5	0,50	9,42	0,52	0,66	449 ± 15	12,53	2,4	0,149	7,3	0,74	58	0,072	5,9
3	2	4	1	0,25	13,75	0,31	0,35	469 ± 25	10,73	3,6	0,22	6,2	1,29	62	0,0798	10,0
4	3	8	2	0,25	22,49	0,30	0,75	445 ± 23	9,45	2,6	0,311	3,4	1,70	61	0,081	13,0
5	3	9	3	0,33	28,62	0,31	0,96	464 ± 36	8,14	2,7	0,384	11	2,30	66	0,086	17,0
6	4	19	7	0,37	20,89	0,36	1,40	420 ± 26	11,57	4,2	0,252	7,4	0,85	84	0,0677	11,0
7	4	13	4	0,31	26,68	0,31	1,20	442 ± 34	9,47	2,8	0,321	8,9	1,29	76	0,0762	12,0
8	5	53	35	0,66	11,52	0,68	3,52	427 ± 8	12,95	1	0,1419	6	0,45	57	0,068	3,4
9	5	60	42	0,70	12,61	0,73	3,99	409 ± 11	12,91	1,2	0,171	6,9	0,65	45	0,0673	4,0
10	5	55	35	0,64	14,7	0,64	3,68	408 ± 12	12,92	1,5	0,184	10	0,60	63	0,0656	4,9
<i>Новоласпинская дайка</i>																
11	1	6	2	0,33	68,18	0,31	0,73	458 ± 49	7,20	2,9	0,431	9,5	—	—	0,042	55,0
12	1	9	3	0,33	29,59	0,32	1,03	440 ± 35	7,91	2,6	0,398	3,2	2,40	50	0,087	15,0
13	2	6	2	0,33	58,45	0,30	0,76	423 ± 47	6,46	2,6	0,511	4	—	—	0,061	37,0
14	2	9	3	0,33	29,85	0,30	1,02	424 ± 46	7,53	2,1	0,441	7,5	3,30	36	0,091	13,0
15	2	9	3	0,33	38,47	0,31	1,11	452 ± 54	7,08	2,7	0,468	8,3	2,60	66	0,084	20,0
16	3	7	3	0,43	44,78	0,44	0,83	445 ± 43	6,73	2,4	0,482	6,6	1,90	83	0,079	19,0
17	4	8	4	0,50	19,86	0,51	0,59	409 ± 23	11,18	2,5	0,282	6,7	1,35	62	0,071	12,0
18	4	7	4	0,57	41,78	0,52	0,52	435 ± 22	11,90	3,3	0,19	5,7	—	—	0,048	25,0
19	5	27	11	0,41	19,05	0,40	1,98	406 ± 24	11,80	3,8	0,236	6,3	0,83	64	0,068	8,0
20	5	31	12	0,39	11,64	0,42	2,18	441 ± 9,8	12,24	1,6	0,176	6,9	0,85	42	0,0718	4,6
21	5	20	7	0,35	19,4	0,35	1,44	407 ± 16	11,81	1,9	0,242	7,8	0,86	55	0,0676	6,3

здесь иное, чем в цирконе. Так, содержание ZrO_2 колеблется от 54,3 до 77,5 %, SiO_2 — от 3,3 до 8,5, HfO_2 — от 1,2 до 2,0 (табл. 5). В отличие от циркона эта кайма содержит значительно больше FeO (0,3–2,5 %), TiO_2 (0,1–3,0), CaO (0,25–8,0), MgO (0,1–1,6) и Y_2O_3 (0,2–1,8 %). При этом части каймы, непосредственно примыкающие к неизменным цирконам, наиболее сильно обеднены ZrO_2 (54,3–56,6 %) и значительно обогащены FeO (0,7–1,2 %), CaO (0,5–0,6), Y_2O_3 (1,4–1,5), MgO (1,5–1,6) и РЗЭ (1,8–3,3 %). Среди лег-

ких лантаноидов преобладают Ce_2O_3 (0,34–0,77 %), Nd_2O_3 (0,10–0,35) и Sm_2O_3 (0,16–1,19), а среди тяжелых — Dy_2O_3 (0,17–0,25), Gd_2O_3 (0,58–0,80) и Ho_2O_3 (0,20–0,39 %). Характерно низкое содержание La , Eu , Yb и очень низкое — Pr , Er и Tb . Содержание SiO_2 и HfO_2 остается почти таким, как и в цирконах.

По мере удаления внутренней каймы от контакта с цирконом в ее составе происходят существенные изменения: значительно увеличивается концентрация ZrO_2 (до 73–77 %) и

Таблица 5. Химический состав внутренней части реакционной каймы на макрокристаллах цирконов из кимберлитов Новоласпинской трубки, %

Table 5. Chemical composition of internal part of reactionary rim on macrocrystals of zircon from kimberlites of Novolaspinsk pipe, %

Номер		SiO_2	TiO_2	ZrO_2	HfO_2	Y_2O_3	ThO_2	Ta_2O_5	FeO	MgO	CaO	La_2O_3	Ce_2O_3
зерна циркона	анализа каймы												
1	1	19,89	0,21	71,52	1,35	1,66	0,00	0,00	0,32	0,53	0,31	0,02	0,18
2	2	18,51	1,63	69,58	1,62	1,75	0,00	0,00	0,33	0,09	4,42	0,21	0,27
	3	12,37	3,00	71,39	2,04	0,43	0,00	0,00	0,92	0,29	6,37	0,14	0,26
3	4	23,81	1,16	65,45	1,34	0,39	0,00	0,00	0,36	0,07	2,89	0,69	1,01
	5	8,54	2,78	73,77	1,51	0,23	0,00	0,00	1,58	0,54	8,00	0,23	0,43
4	6	32,98	0,00	56,63	1,31	1,41	0,05	0,00	0,69	1,54	0,63	0,05	0,34
	7	20,99	0,13	70,75	1,64	0,78	0,02	0,06	0,30	0,51	0,32	0,00	0,26
5	8	27,76	0,37	57,06	1,28	1,38	0,00	0,00	1,04	1,07	1,29	0,00	0,55
	9	16,14	0,26	77,49	1,94	0,31	0,00	0,08	0,40	0,49	0,24	0,02	0,04
6	10	24,68	0,41	61,53	1,39	1,61	0,00	0,00	0,89	0,99	1,99	0,03	0,32
7	11	32,49	0,08	54,35	1,29	1,50	0,01	0,09	1,20	1,61	0,55	0,19	0,77
	12	18,07	0,76	69,28	1,79	1,21	0,04	0,00	1,03	0,09	2,82	0,23	0,50
	13	20,26	0,24	70,69	1,77	1,25	0,01	0,00	0,33	0,23	0,30	0,05	0,30
8	14	27,37	0,39	60,10	1,31	0,70	0,00	0,00	0,64	0,64	1,20	0,07	0,48
	15	21,80	0,57	65,71	1,19	0,72	0,00	0,00	0,66	0,33	2,76	0,07	0,42

Номер		Pr_2O_3	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Eu_2O_3	Dy_2O_3	Gd_2O_3	Er_2O_3	Tb_2O_3	Yb_2O_3	Ho_2O_3	Сумма
зерна циркона	анализа каймы											
1	1	0,07	0,20	0,19	0,07	0,21	0,41	0,07	0,00	0,00	0,23	97,44
2	2	0,09	0,26	0,10	0,06	0,19	0,06	0,11	0,00	0,00	0,13	99,41
	3	0,04	0,09	0,11	0,01	0,30	0,24	0,00	0,00	0,06	0,03	98,06
3	4	0,22	1,36	0,41	0,88	0,15	0,34	0,00	0,00	0,00	0,14	100,65
	5	0,00	0,34	0,25	0,07	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,11	98,48
4	6	0,00	0,10	0,16	0,09	0,17	0,58	0,00	0,00	0,10	0,20	97,04
	7	0,00	0,24	0,24	0,18	0,21	0,62	0,00	0,00	0,03	0,15	97,42
5	8	0,06	0,56	0,41	0,37	0,31	0,82	0,00	0,10	0,00	0,42	94,84
	9	0,00	0,19	0,15	0,13	0,16	0,59	0,00	0,02	0,11	0,00	98,74
6	10	0,04	0,38	0,34	0,12	0,17	0,64	0,02	0,09	0,00	0,38	96,03
7	11	0,05	0,35	0,19	0,18	0,25	0,80	0,00	0,06	0,07	0,39	96,49
	12	0,07	0,34	0,16	0,01	0,38	0,29	0,13	0,01	0,08	0,01	97,28
	13	0,03	0,15	0,08	0,13	0,18	0,44	0,07	0,09	0,17	0,32	97,07
8	14	0,00	0,43	0,32	0,17	0,22	0,83	0,00	0,03	0,06	0,42	95,35
	15	0,19	0,44	0,26	0,24	0,23	0,63	0,00	0,00	0,00	0,20	96,40

уменьшается — SiO_2 (от 32 до 8—12). При этом HfO_2 возрастает до 1,8—2,0, а CaO и TiO_2 — иногда до 4—8 и 2—3 % соответственно. В этой части внутренней каймы сохраняется повышенное или высокое содержание Y_2O_3 (от 0,2—0,4 до 1,7—1,8 %) и РЗЭ (1,3—3,5). Редкоземельные элементы представлены в основном Се, Nd, Sm, Dy, Gd и Ho.

В большинстве результатов микронзондового анализа внутренней реакционной каймы

на макрокристаллах циркона сумма оксидов составляет лишь 95—97 %, хотя в части анализов она достигает почти 100 %. Чем это можно объяснить, мы пока не знаем.

По химическому составу внутренние части реакционных кайм на макрокристаллах изученных цирконов существенно отличаются от бадделита, кальцитрита и цирконолита, встреченных нами в кимберлитах Новоласпинских трубки и дайки.

Таблица 6. Химический состав бадделита из реакционных кайм на макрокристаллах цирконов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, %

Table 6. Chemical composition of baddeleyite from reaction rims on macrocrysts of zircon from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike, %

Номер зерна		SiO_2	TiO_2	FeO	MgO	CaO	ZrO_2	HfO_2	Ta_2O_5	La_2O_3	Ce_2O_3	Nd_2O_3	Sm_2O_3	Eu_2O_3	Gd_2O_3	Dy_2O_3	Yb_2O_3	Сумма	
цир-кона	бадделита																		
<i>Трубка Новоласпинская, скв. 293/16, гл. 74,0—87,0 м</i>																			
1	3ц	0,00	2,31	0,28	0,01	0,03	94,51	2,22	0,18	0,00	0,08	0,01	0,08	0,00	0,00	0,14	0,00	99,85	
	3к	0,01	1,16	0,16	0,01	0,02	96,05	2,09	0,21	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	99,85	
4	5ц	0,00	2,77	0,31	0,01	0,06	94,31	2,24	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,78	
	5к	0,21	1,82	0,32	0,06	0,03	95,17	1,88	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01	0,03	0,04	0,06	0,11	99,84	
6	7ц	0,00	1,79	0,32	0,01	0,00	95,06	2,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	99,28	
	7к	0,13	1,22	0,30	0,03	0,02	95,66	2,16	0,00	0,06	0,02	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05	99,74	
	3ц	0,15	4,00	0,37	0,06	0,04	92,75	1,91	0,18	0,00	0,02	0,01	0,08	0,08	0,00	0,07	0,09	99,81	
	5ц	0,00	4,75	0,50	0,05	0,02	91,81	2,24	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,13	0,02	99,80	
7	5к	0,00	1,36	0,14	0,00	0,00	95,80	2,28	0,12	0,06	0,04	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	99,88	
	7ц	0,00	3,01	0,32	0,06	0,04	93,84	2,07	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	99,60	
	7к	0,00	0,78	0,15	0,05	0,02	96,02	2,17	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	99,29	
	4ц	0,00	3,51	0,27	0,04	0,01	93,28	2,32	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	99,58	
9	5ц	0,00	4,02	0,40	0,05	0,00	92,86	2,30	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,11	99,94	
	6ц	0,03	3,38	0,52	0,12	0,19	93,18	2,01	0,00	0,01	0,02	0,07	0,03	0,00	0,00	0,10	0,00	99,66	
	1ц	0,00	2,24	0,22	0,01	0,02	94,85	2,08	0,14	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,12	99,82	
10	5ц	0,00	2,05	0,27	0,01	0,00	94,74	2,46	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,02	0,00	99,72	
	5к	0,00	2,27	0,34	0,01	0,00	94,50	2,56	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	99,86	
	9ц	0,00	2,44	0,24	0,01	0,02	94,64	2,01	0,26	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	99,77	
11	5ц	0,00	3,23	0,40	0,07	0,16	93,53	1,82	0,00	0,05	0,00	0,08	0,01	0,09	0,06	0,06	0,00	99,56	
	5к	0,00	2,35	0,21	0,00	0,12	95,22	1,92	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	99,93	
	7ц	0,00	4,75	0,31	0,02	0,00	92,55	2,04	0,00	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	99,86	
<i>Дайка Новоласпинская, скв. 396/9, гл. 29,0—54,5 м</i>																			
1	2ц	0,02	1,58	0,28	0,00	0,00	95,66	2,09	0,10	0,11	0,00	0,06	0,09	0,07	0,05	0,00	0,07	100,18	
2	3ц	0,00	4,47	0,42	0,04	0,01	92,26	2,40	0,01	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,10	0,00	0,11	99,96	
	3к	0,00	0,89	0,09	0,02	0,04	96,02	2,49	0,00	0,00	0,10	0,00	0,14	0,01	0,09	0,00	0,00	99,89	
6	2ц	0,16	1,71	0,23	0,03	0,08	95,04	2,40	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	99,80	
8	2ц	0,00	6,25	0,58	0,05	0,05	90,65	2,09	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,07	0,11	99,89	
	2к	0,75	2,44	0,29	0,29	0,25	93,00	2,44	0,00	0,00	0,04	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	99,79	
9	2ц	0,00	5,07	0,37	0,02	0,02	92,26	1,89	0,16	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	99,84	
	2к	0,11	0,47	0,19	0,08	1,10	94,71	2,48	0,24	0,00	0,00	0,09	0,00	0,06	0,00	0,05	0,07	99,65	
10	2ц	0,00	2,05	0,88	0,06	0,03	94,18	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	0,26	0,00	99,99	
12	2ц	0,00	4,15	0,54	0,06	0,05	92,82	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,00	0,14	0,05	99,76	
	2к	0,00	1,63	0,34	0,01	0,23	93,76	2,03	0,25	0,07	0,00	0,08	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	98,51	

Примечание. Номера зерен цирконов соответствуют указанным в табл. 1; ц — центр, к — край зерна.

Внешняя часть кайм сложена преимущественно кристаллами бадделеита, а промежутики между ними — зернами оливина измененного, диопсида, флогопита, сфена, апатита и кальцита (рис. 3, 4).

Охарактеризованные каймы на макрокристах циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки по морфологии и структуре очень напоминают реакционные каймы на цирконах кимберлитового типа, приведенных в "Атласе текстур циркона" [17].

Бадделеит — один из наиболее распространенных минералов внешней зоны реакционных кайм на макрокристах циркона. Он образует мелкие короткие (до 10—20 мк) или сильно удлиненные (до 50—100 мк) идиоморфные кристаллы, которые ориентированы преимущественно почти перпендикулярно к контурам зерен циркона и часто субпараллельны между собой (рис. 2—4). Некоторые из них берут начало во внутренней кайме и "прорастают" внешнюю часть каймы на всю толщину. Кристаллы имеют зональное строение. В отраженных электронах их центральные части темные, краевые — светлые. Кроме того, центральные части кристаллов не люминесцируют в рентгеновских лучах, а краевые — интенсивно люминесцируют синевато-зеленым цветом.

Микронзондовое изучение бадделеитов показало, что их центральные и краевые части различаются по составу (табл. 6). Содержание ZrO_2 в центральной части кристаллов варьирует от 90,6 до 95,6 %, TiO_2 — от 1,6 до 6,2. Причем наблюдается отчетливая обратная зависимость между значениями содержания TiO_2 и ZrO_2 (рис. 8). В бадделеите постоянно присутствует FeO — от 0,2 до 0,8 %. Центральные части кристаллов обычно содержат больше FeO, чем краевые. Между содержанием TiO_2 и FeO существует прямая зависимость, между FeO и ZrO_2 — обратная (рис. 8). Для бадделеитов характерно сравнительно высокое содержание HfO_2 — 1,8—2,5 %, тогда как в цирконах, по которым они развиваются, на HfO_2 приходится 1,25—1,84 %. Значение Zr/Hf в центральных частях кристаллов бадделеита изменяется от 33 до 42. Преимущественно в краевой части кристаллов бадделеита изредка содержится примесь SiO_2 (0,1—0,2 %) и CaO (обычно меньше 0,1, редко до 0,25 %). Более чем в половине изученных кристаллов установлено наличие Ta_2O_5 (до 0,20—0,25 %) и ThO_2 (до 0,08). Почти все кристаллы имеют

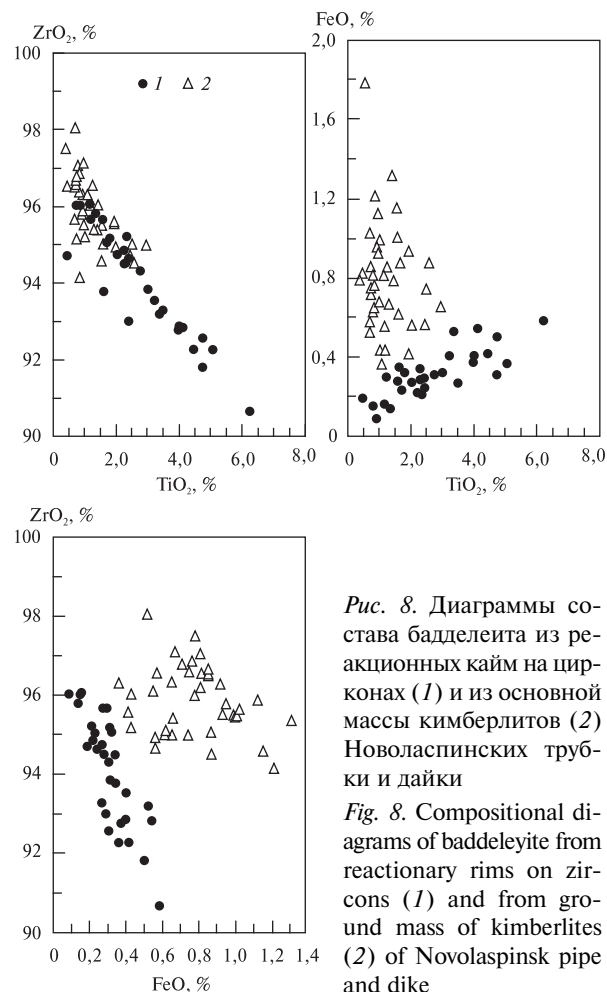


Рис. 8. Диаграммы состава бадделеита из реакционных кайм на цирконах (1) и из основной массы кимберлитов (2) Новоласпинских трубки и дайки

Fig. 8. Compositional diagrams of baddeleyite from reaction rims on zircons (1) and from ground mass of kimberlites (2) of Novolaspinsk pipe and dike

примесь MgO (до 0,1—0,3 %) и лишь некоторые из них — Y_2O_3 (0,01—0,06 %). Установлено также небольшое количество P3Э.

Описанный бадделеит возник в результате реакции макрокристов циркона с остаточным кимберлитовым расплавом, обогащенным карбонатной составляющей, щелочами и другими флюидами. При этом высвободившийся из циркона кремнезем был израсходован на образование ассоциирующих с бадделеитом оливина и диопсида. Как будет показано ниже, особенности состава диопсида позволяют заключить, что эти процессы были синхронны и происходили при относительно низком значении PT параметров преимущественно на позднемагматическом этапе эволюции кимберлитового расплава.

Оливин в свежем виде не установлен. Обычно по нему развиты продукты изменения такого состава, %: SiO_2 — 40,2; MgO — 34,08; FeO — 6,55; CaO — 0,17; ZrO_2 — 0,10; NiO — 0,07; Al_2O_3 — 0,51. Из приведенных данных

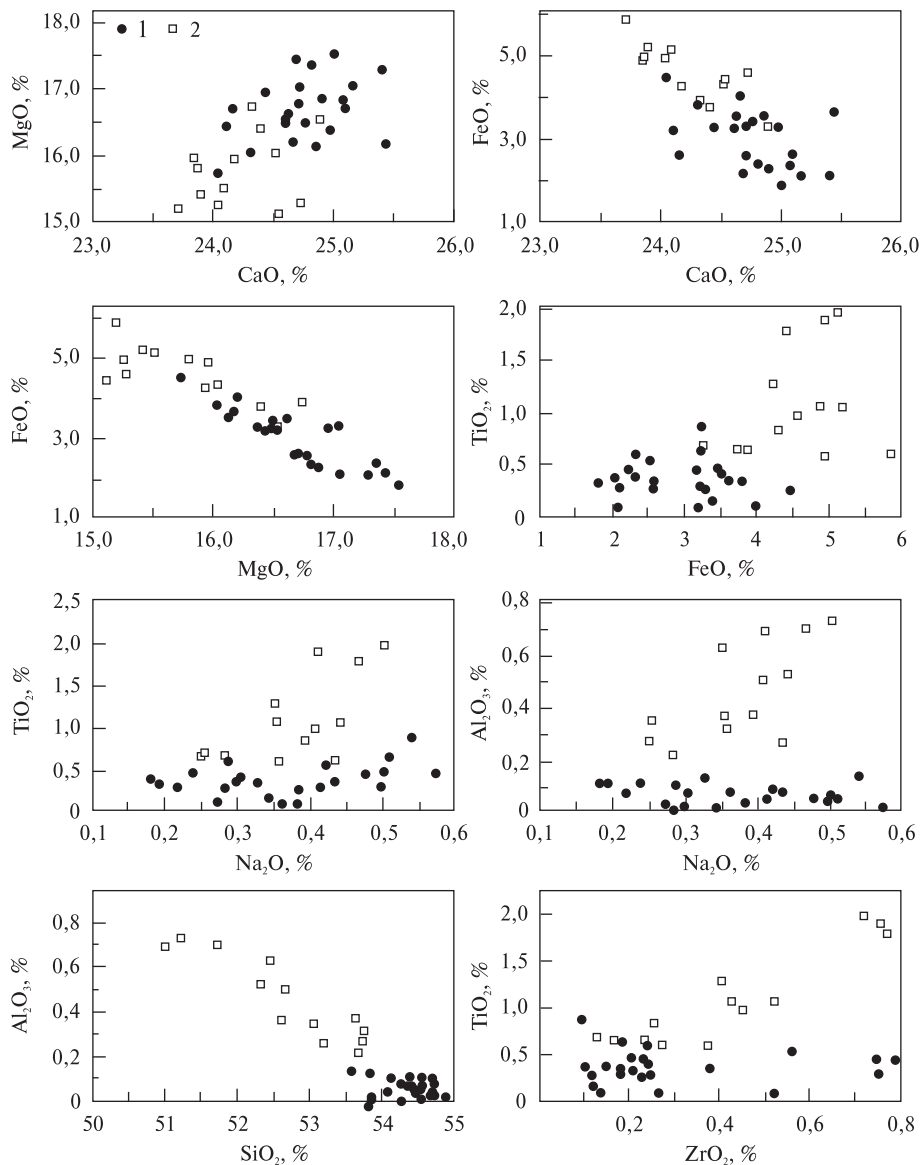


Рис. 9. Диаграммы состава диопсида из реакционных кайм на цирконах из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки. Разновидности диопсида: 1 — первая, 2 — вторая группа

Fig. 9. Compositional diagrams of diopside from reactionary rims on zircons from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike. Diopside varieties: 1 — first, 2 — the second group

можно заключить, что изначально это был форстерит.

Диопсид представлен почти бесхромистой ($Cr_2O_3 < 0,05$ %) кальциевой ($CaO - 23-25$, $MgO - 15,1-17,5$) разновидностью с повышенным содержанием FeO (2,0–5,2 %) и Na_2O (0,18–0,57). Примесь TiO_2 в нем колеблется от 0,07–0,15 до 1–2 %, Al_2O_3 — от 0,01 до 0,73 (табл. 7). Для диопсидов характерно наличие обратной почти линейной зависимости между содержанием MgO и FeO и несколько менее выраженной — между CaO и

FeO , а также прямой зависимости между CaO и MgO . Железистость их варьирует от 6,2 до 15,8 %.

По особенностям состава диопсиды делятся на две группы. На диаграммах в координатах $CaO - FeO$, $CaO - MgO$ и $MgO - FeO$ фигуративные точки их состава образуют единый тренд, но локализуются в виде двух обособленных полей (рис. 9). Еще отчетливее выделяются эти поля на диаграммах $Na_2O - Al_2O_3$, $FeO - TiO_2$, $Na_2O - TiO_2$, $ZrO_2 - TiO_2$ и $SiO_2 - Al_2O_3$.

Диопсиды первой группы содержат, %: SiO₂ — 53,59—55,5; TiO₂ — 0,07—0,86; Al₂O₃ — 0,00—0,16; Cr₂O₃ — <0,05; FeO — 2,1—3,8; MnO — 0,00—0,18; MgO — 16,04—17,57; CaO — 23,11—25,77; Na₂O — 0,18—0,57; V — 0,00—0,14; ZrO₂ — 0,10—0,79. Железистость их составляет 6,2—12,0 %. Весь Al находится в четверной

координации (до 0,006 ф. е.). Минимальный состав диопсидов, мол. %: Wo — 47,7—50,1; En — 44,3—47,9; Fs — 3,0—6,1. Они относятся к высококальциевой разновидности.

Диопсиды второй группы отличаются от первой меньшей кальциевостью (CaO — 23,0—24,9 %), большей железистостью (*f* = 10,0—

Таблица 7. Химический состав диопсида из внешней реакционной каймы на макрокристаллах циркона из кимберлитов трубки Новоласпинская, %

Table 7. Chemical composition of diopside from external reactionary rim on macrocrystals of zircon from Novolaspinisk kimberlitic pipe, %

Номер		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ZrO ₂	V ₂ O ₅	Сумма
зерна циркона	анализа диопсида													
<i>Первая группа</i>														
1	1	54,71	0,27	0,04	0,00	2,58	0,10	16,69	24,16	0,41	0,02	0,25	0,00	99,23
	2	54,52	0,63	0,04	0,00	3,24	0,17	16,95	24,44	0,51	0,01	0,19	0,00	100,69
	3	54,46	0,28	0,03	0,02	3,23	0,16	16,49	24,61	0,50	0,00	0,75	0,00	100,54
	4	54,70	0,59	0,09	0,01	2,33	0,09	17,36	24,82	0,29	0,02	0,24	0,01	100,55
	5	54,14	0,31	0,10	0,00	1,82	0,08	17,53	25,01	0,19	0,06	0,21	0,05	99,50
	6	54,43	0,46	0,05	0,00	3,48	0,15	16,61	24,63	0,50	0,02	0,20	0,08	100,61
	7	54,72	0,08	0,07	0,01	3,21	0,18	16,54	24,62	0,36	0,00	0,27	0,09	100,13
	8	54,73	0,25	0,02	0,04	4,46	0,23	15,73	24,05	0,38	0,03	0,23	0,08	100,23
2	9	53,59	0,86	0,13	0,04	3,25	0,04	16,38	24,98	0,54	0,02	0,10	0,00	99,92
	10	54,26	0,53	0,08	0,01	2,54	0,10	16,78	24,72	0,42	0,01	0,56	0,06	100,06
	11	54,39	0,37	0,10	0,00	2,05	0,05	17,28	25,41	0,18	0,02	0,15	0,06	100,07
3	12	54,54	0,38	0,07	0,07	2,33	0,10	16,82	25,08	0,30	0,02	0,24	0,05	100,01
	13	54,36	0,28	0,06	0,00	2,11	0,11	17,43	24,70	0,22	0,04	0,18	0,00	99,49
	14	53,85	0,32	0,12	0,05	2,59	0,10	16,71	25,10	0,33	0,00	0,18	0,02	99,37
	15	54,40	0,34	0,07	0,02	3,80	0,10	16,04	24,31	0,44	0,01	0,38	0,11	100,01
	16	54,56	0,44	0,10	0,00	2,25	0,06	16,87	24,91	0,24	0,04	0,23	0,05	99,75
	17	54,88	0,09	0,02	0,00	3,99	0,14	16,20	24,67	0,27	0,03	0,14	0,02	100,46
4	18	53,86	0,35	0,01	0,00	3,62	0,11	16,17	25,44	0,30	0,00	0,11	0,00	99,97
	19	54,27	0,26	0,00	0,01	3,30	0,15	17,04	24,72	0,28	0,00	0,12	0,05	100,20
	20	54,09	0,42	0,04	0,01	3,51	0,13	16,13	24,86	0,48	0,00	0,79	0,14	100,59
	21	54,54	0,15	0,00	0,05	3,38	0,15	16,49	24,77	0,34	0,03	0,13	0,01	100,03
	22	53,87	0,44	0,01	0,00	3,18	0,18	16,44	24,11	0,57	0,00	0,75	0,04	99,59
	23	54,69	0,07	0,03	0,01	2,08	0,10	17,05	25,16	0,38	0,00	0,52	0,02	100,11
<i>Вторая группа</i>														
1	24	52,62	1,06	0,36	0,00	4,88	0,12	15,96	23,85	0,36	0,02	0,43	0,07	99,71
	25	53,20	0,60	0,26	0,02	5,86	0,13	15,20	23,72	0,44	0,01	0,27	0,07	99,76
	26	53,68	0,65	0,21	0,01	3,78	0,10	16,40	24,39	0,28	0,01	0,24	0,04	99,77
2	27	53,06	0,67	0,34	0,00	3,27	0,11	16,53	24,90	0,26	0,05	0,13	0,02	99,33
	28	52,46	1,28	0,63	0,00	4,24	0,13	15,94	24,18	0,35	0,00	0,41	0,02	99,62
	29	53,73	0,64	0,26	0,01	3,88	0,16	16,74	24,33	0,25	0,02	0,17	0,01	100,19
3	30	53,76	0,58	0,31	0,00	4,95	0,11	15,80	23,87	0,36	0,02	0,38	0,00	100,13
	31	53,64	0,83	0,37	0,00	4,31	0,11	16,04	24,53	0,39	0,01	0,26	0,03	100,51
4	32	51,74	1,78	0,70	0,05	4,42	0,10	15,12	24,54	0,47	0,03	0,77	0,05	99,76
	33	51,02	1,89	0,69	0,03	4,95	0,10	15,26	24,04	0,41	0,00	0,76	0,04	99,19
	34	52,67	0,97	0,50	0,00	4,57	0,11	15,28	24,73	0,41	0,01	0,45	0,04	99,74
	35	52,34	1,05	0,52	0,00	5,19	0,12	15,42	23,90	0,44	0,00	0,52	0,07	99,57
	36	51,23	1,97	0,73	0,00	5,12	0,10	15,52	24,09	0,50	0,00	0,72	0,04	100,02

15,8), высоким содержанием Al_2O_3 (0,15—0,78) и TiO_2 (0,5—2,0 %). Al находится в четверной координации в количестве от 0,011 до 0,032 ф. е. Расчетным путем в составе этих диопсидов установлены миналы, мол. %: Wo — 48,0—49,5; En — 43,4—46,0; Fs — 5,1—8,2.

В диопсидах второй группы намечается прямая зависимость между содержаниями Al_2O_3 и Na_2O , TiO_2 и Na_2O , TiO_2 и FeO , ZrO_2 и TiO_2 , тогда как в диопсидах первой группы такие зависимости отсутствуют.

Диопсиды обеих групп из реакционных кайм на макрокристаллах циркона отличаются по типохимическим особенностям от развитых в

Таблица 8. Состав сфена из реакционных кайм на макрокристаллах циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, %

Table 8. Chemical composition of sphene from reactionary rims on macrocrystals of zircon from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike, %

Компонент	1	2	3	4
SiO_2	30,43	30,13	31,46	31,00
TiO_2	34,50	34,33	34,44	35,62
Al_2O_3	0,14	0,24	1,77	0,60
FeO	2,50	2,34	1,18	0,58
MgO	0,19	0,84	0,30	0,15
CaO	27,47	27,69	27,91	27,83
Na_2O	0,00	0,01	0,09	0,04
P_2O_5	0,01	0,00	0,00	0,05
F	0,38	0,17	0,48	0,26
Y_2O_3	0,00	0,00	0,01	He опр.
ZrO_2	1,32	1,28	0,58	0,43
HfO_2	0,17	0,05	0,00	He опр.
La_2O_3	0,13	0,06	0,09	" "
Ce_2O_3	0,24	0,20	0,14	" "
Pr_2O_3	0,00	0,00	0,00	" "
Nd_2O_3	0,03	0,05	0,12	" "
Sm_2O_3	0,02	0,03	0,04	" "
Eu_2O_3	0,11	0,01	0,03	" "
Gd_2O_3	0,00	0,00	0,00	" "
Tb_2O_3	0,00	0,00	0,00	" "
Dy_2O_3	0,00	0,04	0,00	" "
Ho_2O_3	0,00	0,03	0,00	" "
Er_2O_3	0,00	0,00	0,00	" "
Yb_2O_3	0,00	0,18	0,06	" "
Ta_2O_5	0,02	0,09	0,06	0,02
Nb_2O_5	0,45	0,32	0,21	0,04
UO_2	0,01	0,00	0,00	He опр.
ThO_2	0,67	0,01	0,03	" "
V_2O_5	0,20	0,21	0,42	0,55
Сумма	98,99	98,31	99,42	97,17

кимберлитах Новоласпинских трубки и дайки ксеногенных макрокристаллических хромдиопсидов и от фенокристаллических хромсодержащих диопсидов из основной массы этих кимберлитов. Высокое содержание TiO_2 в изученных диопсидах второй группы сближает их с диопсидами из основной массы лампроитов Западного Кимберли (Австралия), в которых TiO_2 — 0,86—2,86 % [4]. Вместе с тем по сравнению с последними они имеют более высокую концентрацию Al_2O_3 , FeO и Na_2O , более низкую — Cr_2O_3 , а также в них установлена значительная примесь ZrO_2 .

Реакционно-магматическая природа диопсидов из кайм на макрокристаллах цирконов не вызывает сомнения. Высокая кальциевость, повышенная железистость и титанистость, наличие чермакитового компонента (Al_{IV}) свидетельствуют о формировании их в малоуглубленных условиях при значительном окислительном потенциале. Судя по величине отношения $Ca/Ca + Mg$ (0,51—0,53), температура образования изученных диопсидов составляет 750—850 °С. Причем для диопсидов первой группы она несколько выше, чем для второй. На этом основании можно предположить, что диопсиды первой группы являются в целом более ранними образованиями, чем диопсиды второй группы.

Эволюция диопсидов происходила в направлении уменьшения содержания Ca и Mg, увеличения содержания Fe, Ti, Al_{IV} , снижения температуры от 850 до 750 °С и большей окисленности реагирующего с цирконом кимберлитового расплава, обогащенного карбонатной составляющей, флюидами и несовместимыми элементами.

Сфен в составе реакционных кайм на макрокристаллах циркона встречается значительно реже, чем диопсид. Его мелкие выделения неправильной формы ассоциируют с диопсидом и кальцитом. Содержание основных минералообразующих оксидов в нем составляет, %: CaO — 27,5—27,9; TiO_2 — 34,1—35,6; SiO_2 — 30,1—31,5 (табл. 8). Из примесей в наибольшем количестве установлены, %: FeO — 0,6—2,5; V_2O_5 — 0,20—0,55; Al_2O_3 — 0,1—1,8; ZrO_2 — 0,4—1,3. В некоторых зернах сфена определены также Cr_2O_3 (до 0,18 %), MgO (0,15—0,84), Nb_2O_5 (0,04—0,45), Ta_2O_5 (до 0,09), F (0,17—0,48), HfO_2 (до 0,17 %). На РЗЭ приходится от 0,2 до 0,5 %. Основные из них — Ce_2O_3 (0,18—0,24 %), La_2O_3 (до 0,13) и Nd_2O_3 (до 0,12).

Апатит кристаллизовался позже диопсида и сфена, но раньше кальцита. В реакционных каймах он образует кристаллы размером до 10–15 мк. По составу соответствует фтор-апатиту (табл. 9). Содержание F = 2,0–3,1 %. Другие характерные примеси, %: SrO — 0,6–1,3; Na₂O — 0,03–0,07; MnO — до 0,03. Кроме того, имеются примеси SiO₂ (0,4–0,9 %), BaO (<0,17), FeO (0,08–0,12), иногда Ta₂O₅ (<0,10 %). Специфическая особенность состава апатита, как и других минералов из реакционных кайм на макрокристаллах циркона — наличие ZrO₂ (0,4–0,8 %). На редкоземельные элементы приходится иногда до 1 %. Среди них преобладают La, Ce и другие легкие лантаноиды. По составу этот апатит не отличается от апатита из основной массы кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки.

Кальцит образует единичные идиоморфные микрокристаллы или ксеноморфные выделения в ассоциации с диопсидом. Результат микронзондового анализа показал недостаточную стабильность его состава. Из примесей определены SrO (0,38–0,83 %), BaO (до 0,5), FeO (до 0,45), MgO (<0,3), SiO₂ (<0,3) и ZrO₂ (до 0,3 %). По типохимическим особенностям он подобен высокотемпературному позднемагматическому кальциту из основной массы кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки.

Циркониевые минералы из основной массы кимберлитов. Основная масса в массивных кимберлитах с порфировой структурой из трубки Новоласпинская сложена оливином и продуктами его изменения, флогопитом и кальцитом в разных соотношениях. Кроме того, в ее состав входят в заметных количествах перовскит, титаномагнетит, ульвошпинель, сфен, Mg- и Mn-ильменит, рутил, апатит и преимущественно в виде единичных зерен — бадделеит, цирконолит и кальцитрит (рис. 10).

Бадделеит — наиболее распространенный минерал среди оксидов циркония. Он образует идиоморфные микрокристаллы гомогенного строения или сростки удлиненно-призматических кристаллов с хорошо выраженными пирамидальными вершинами (рис. 10). На одном из участков кимберлита в основной массе обнаружен сросток многих (до 10) простых и сложных двойников микрокристаллов бадделеита в ассоциации с кальцитритом. Кристаллы бадделеита часто контактируют с кристаллами перовскита, сфена и титаномагнетита. Иногда их включения наблюдались в фено-

кристаллах флогопита и титаномагнетита из основной массы. Бадделеит выделился позже перовскита, но раньше апатита и кальцита.

Состав бадделеита не зависит от его положения относительно ассоциирующих с ним минералов основной массы (табл. 10, ан. 1–39). Содержание ZrO₂ в нем составляет 94,1–97,5 %. Наиболее важные примеси — HfO₂ (0,6–2,0 %), TiO₂ (0,4–3,0) и FeO (0,4–1,8). Между значениями содержания ZrO₂ и TiO₂ наблюдается обратная зависимость, а между ZrO₂ и FeO, TiO₂ и FeO зависимость отсутствует (рис. 8). Некоторые бадделеиты содержат в повышенном количестве CaO (до 0,5 %),

Таблица 9. Состав апатита из реакционных кайм на макрокристаллах циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, %

Table 9. Chemical composition of apatite from reactionary rims on macrocrystals of zircon from kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike, %

Компонент	1	2	3
SiO ₂	0,49	0,44	2,23
FeO	0,08	0,08	0,12
MgO	0,06	0,05	0,02
CaO	54,11	54,52	55,48
Na ₂ O	0,05	0,03	0,07
P ₂ O ₅	38,30	39,42	37,38
F	2,75	3,15	2,05
Y ₂ O ₃	He опр.	He опр.	0,03
ZrO ₂	0,41	0,8	0,43
HfO ₂	He опр.	He опр.	0,01
La ₂ O ₃	" "	" "	0,33
Ce ₂ O ₃	" "	" "	0,39
Pr ₂ O ₃	" "	" "	0,11
Nd ₂ O ₃	" "	" "	0,08
Sm ₂ O ₃	" "	" "	0,07
Eu ₂ O ₃	" "	" "	0,01
Gd ₂ O ₃	" "	" "	0,03
Tb ₂ O ₃	" "	" "	0,00
Dy ₂ O ₃	" "	" "	0,00
Ho ₂ O ₃	" "	" "	0,03
Er ₂ O ₃	" "	" "	0,00
Yb ₂ O ₃	" "	" "	0,00
Ta ₂ O ₅	0,05	0,06	0,10
UO ₂	He опр.	He опр.	0,00
ThO ₂	" "	" "	0,02
SrO	1,03	1,3	0,62
BaO	0,17	0,07	0,09
V ₂ O ₅	0,00	0,11	0,06
Cl	0,02	0,02	He опр.
SO ₃	0,09	0,06	" "
Сумма	97,61	100,11	99,76

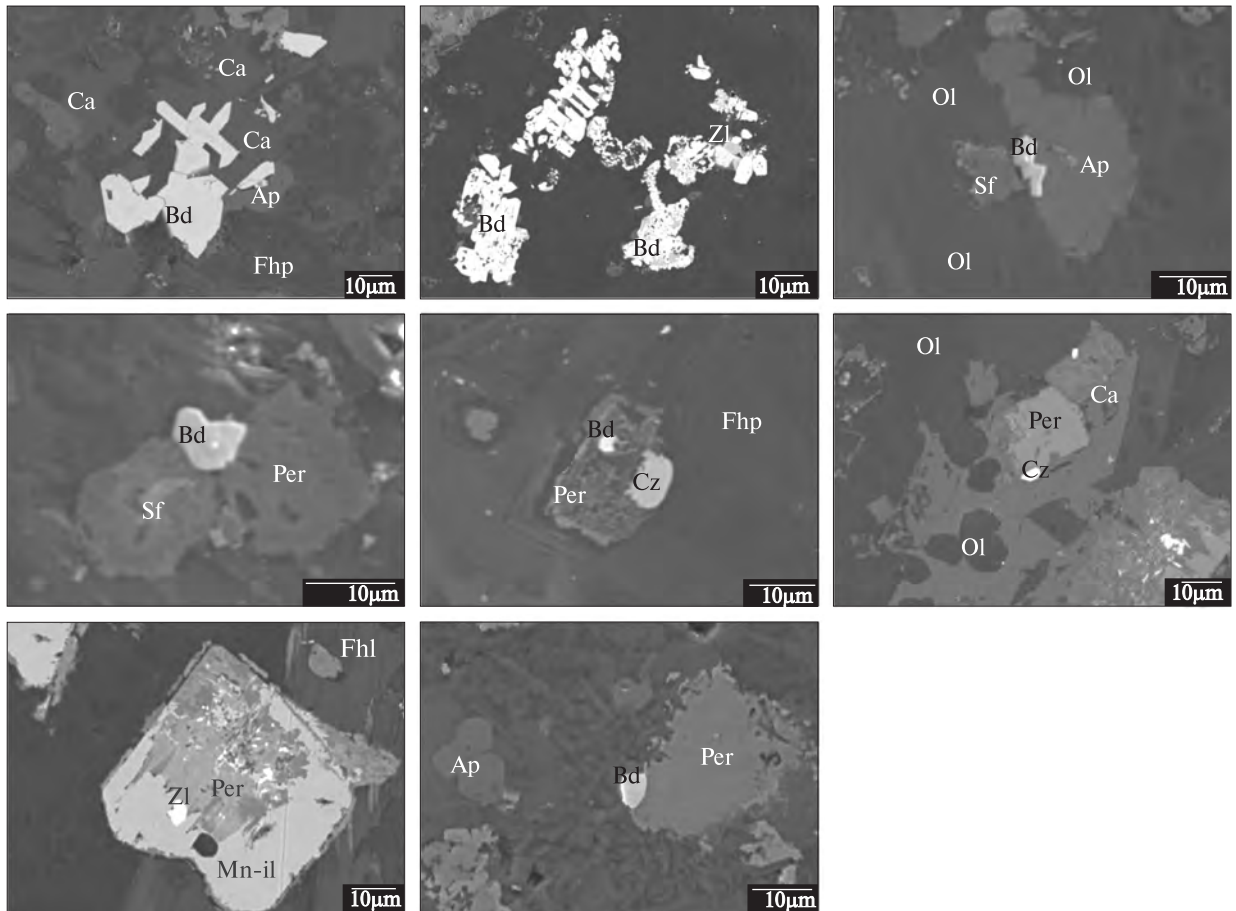


Рис. 10. Морфология микрокристаллов бадделеита, кальциррита и цирконолита из основной массы кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки. Bd — бадделеит, Cz — кальциррит, Zl — цирконолит, Ap — апатит, Ca — кальцит, Fhp — флогопит, Mn-il — Mn-ильменит, Ol — оливин, Per — перовскит, Sf — сфен

Fig. 10. Morphology of microcrystals of baddeleyite, calzirtite and zirconolite sampled from ground mass of kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike. Bd — baddeleyite, Cz — calzirtite, Zl — zirconolite, Ap — apatite, Ca — calcite, Fhp — phlogopite, Mn-il — Mn-ilmenite, Ol — olivine, Sf — sphene

SiO₂ (до 0,4), MgO (иногда до 0,3) и ThO₂ (<0,1 %). Примеси PЗЭ и Ta₂O₅ с помощью микрозондового анализа определены лишь в отдельных кристаллах. Для большинства бадделеитов из основной массы изученных кимберлитов величина Zr/Hf составляет 40—65, а для незначительной части возрастает до 80—84. В единичных бадделеитах с наиболее высоким содержанием ZrO₂ и наиболее низким HfO₂ величина Zr/Hf достигает 123—133. Для сравнения укажем, что для бадделеита из основной массы кимберлитов из силла Бенфонтейн Zr/Hf = 49 (среднее из 86 анализов по [20]).

Для бадделеита характерна четко проявленная в рентгеновских лучах люминесценция фиолетово-синего цвета. При этом за пределами его кристаллов почти всегда фиксируется яркое свечение в виде лепестков. Благодаря

этому даже самые мелкие кристаллы бадделеита достаточно уверенно идентифицируются при микрозондовом изучении аншлифов кимберлитов. Природа свечения не установлена. По аналогии с цирконами из кимберлитов других регионов фиолетово-синяя люминесценция их может быть обусловлена примесями Dy, Gd и Ce, которые в очень малых количествах определены благодаря микрозондовому анализу.

Бадделеит из основной массы кимберлитов трубки Новоласпинская отличается от бадделеита из реакционных кайм на макрокристах циркона из этих же кимберлитов более высоким содержанием ZrO₂, FeO и CaO, более низким — HfO₂, TiO₂, PЗЭ и Ta₂O₅, отсутствием зависимости между значениями содержания ZrO₂ и FeO, FeO и TiO₂, а также более высоким значением Zr/Hf. На диаграмме

Таблица 10. Состав бадделеита, кальцитита и цирконолита из основной массы кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, %
 Table 10. Composition of baddeleyite, calzirtite and zirconolite from ground mass of kimberlites of Novolaspinsk pipe and dike, %

Номер анализа	SiO ₂	TiO ₂	FeO	MgO	CaO	ZrO ₂	HfO ₂	Ta ₂ O ₅	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Сумма
<i>Бадделеит</i>																	
1	0,10	0,96	0,67	0,18	0,26	97,11	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	100,76
2	0,00	2,49	0,74	0,04	0,15	95,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	100,19
3	0,00	1,01	0,43	0,06	0,02	95,19	1,95	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,68
4	0,00	2,45	0,56	0,05	0,08	94,70	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,89
5	0,01	2,96	0,65	0,08	0,04	94,98	1,76	0,00	0,01	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,58
6	0,00	2,00	0,56	0,06	0,04	94,92	1,95	0,00	0,00	0,10	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	99,72
7	0,02	0,76	0,62	0,06	0,06	95,12	1,75	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,41
8	0,02	0,69	0,57	0,09	0,05	96,58	1,48	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,54
9	0,12	1,43	0,78	0,11	0,05	95,99	1,71	0,00	0,00	0,11	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	100,37
10	0,10	0,87	0,76	0,05	0,07	96,84	1,45	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,19
11	0,10	1,92	0,93	0,06	0,13	95,51	1,62	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,38
12	0,16	1,13	0,81	0,09	0,16	96,20	1,23	0,00	0,00	0,02	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,92
13	0,08	0,80	0,81	0,11	0,14	97,04	1,30	0,00	0,15	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,50
14	1,31	0,84	1,21	1,10	0,30	94,13	1,21	0,00	0,04	0,11	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	100,28
15	0,39	0,99	0,99	0,31	0,08	95,51	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,95
16	0,11	0,46	0,82	0,11	0,08	96,53	1,59	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	99,83
17	0,11	0,72	0,85	0,08	0,11	96,47	1,38	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	99,85
18	0,01	0,70	0,75	0,06	0,01	96,61	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,13	99,90
19	0,28	0,81	0,65	0,13	0,15	96,33	1,34	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,10	0,15	0,01	99,99
20	0,41	0,91	0,95	0,09	0,47	95,78	1,29	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
21	0,03	2,57	0,87	0,03	0,12	94,50	1,51	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,19	99,98
22	0,00	1,56	1,00	0,03	0,04	95,50	1,65	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,07	0,00	0,05	0,18	100,13
23	0,21	0,68	1,02	0,10	0,02	95,64	1,64	0,26	0,00	0,00	0,15	0,00	0,03	0,01	0,09	0,10	99,95
24	0,27	0,69	0,52	0,12	0,16	98,04	0,70	0,06	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	100,65
25	0,04	0,94	0,92	0,08	0,45	96,27	1,56	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	100,33
26	0,05	1,24	0,85	0,08	0,04	96,52	1,41	0,00	0,02	0,17	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	100,51
27	0,14	1,30	0,66	0,18	0,15	95,41	1,10	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	98,99
28	0,16	0,37	0,78	0,08	0,04	97,50	0,64	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,17	99,84
29	0,00	1,95	0,41	0,02	0,14	95,55	1,23	Не опр.	0,01	0,00	0,04	0,00	Не опр.	0,00	Не опр.	Не опр.	99,36
30	0,00	1,07	0,36	0,01	0,22	96,31	1,40	" "	0,00	0,00	0,00	0,04	" "	0,02	" "	" "	99,43
31	0,00	1,18	0,55	0,05	0,33	96,11	1,35	" "	0,13	0,00	0,00	0,00	" "	0,10	" "	" "	99,81
32	0,00	1,17	0,43	0,03	0,48	96,02	1,47	" "	0,00	0,03	0,01	0,00	" "	0,00	" "	" "	99,63
33	0,00	0,73	0,71	0,05	0,16	96,78	1,10	" "	0,01	0,00	0,02	0,03	" "	0,04	" "	" "	99,62
34	0,00	1,65	0,87	0,06	0,24	95,06	1,35	" "	0,01	0,05	0,00	0,00	" "	0,05	" "	" "	99,34
35	0,00	0,95	1,12	0,03	0,19	95,87	0,99	" "	0,00	0,10	0,00	0,07	" "	0,00	" "	" "	99,32
36	0,16	0,52	1,78	1,07	0,36	89,62	0,44	" "	0,08	0,00	0,04	0,09	" "	0,00	" "	" "	94,15
37	0,00	1,54	1,15	0,08	0,35	94,57	1,18	" "	0,00	0,00	0,02	0,13	" "	0,00	" "	" "	99,01
38	0,00	1,60	0,61	0,05	0,38	94,99	1,29	" "	0,00	0,05	0,01	0,02	" "	0,00	" "	" "	98,99
39	0,00	1,40	1,31	0,03	0,11	95,36	1,39	" "	0,00	0,00	0,03	0,00	" "	0,08	" "	" "	99,71
40	0,00	0,70	0,85	0,05	0,09	96,67	1,13	" "	0,00	0,00	0,00	0,00	" "	0,00	" "	" "	99,48
<i>Кальцитит</i>																	
41	0,20	14,09	1,67	0,26	12,23	70,20	0,89	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,62
42	0,04	15,09	1,40	0,23	12,15	68,67	1,11	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	98,75
43	0,43	16,68	0,61	0,36	12,39	67,74	1,24	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	99,57
44	0,28	16,93	0,75	0,23	12,71	66,81	1,17	0,00	0,00	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,01
45	0,09	13,65	1,29	0,29	11,94	69,96	1,33	0,23	0,04	0,00	0,07	0,00	0,03	0,05	0,05	0,11	99,13
<i>Цирконолит</i>																	
46	0,22	34,31	5,55	0,83	12,34	42,89	0,77	0,35	0,03	0,21	0,30	0,05	0,14	0,13	0,06	0,00	98,17
47	0,11	34,65	6,02	0,85	11,90	42,87	0,61	0,17	0,11	0,34	0,08	0,08	0,00	0,00	0,35	0,00	98,12

TiO₂ — ZrO₂ фигуративные точки их состава из основной массы кимберлитов располагаются в области высокой концентрации ZrO₂ (94–98 %) и сравнительно низкого содержания TiO₂ (0,5–3,0 %), тогда как бадделеиты из кайм на макрокристаллах циркона — в области более низкой концентрации ZrO₂ (90,5–96,0 %) и более высокой TiO₂ (1,0–6,5 %). Наличие бадделеита в основной массе кимберлитов Новоласпинской трубки свидетельствует о том, что остаточный кимберлитовый расплав был недосыщен SiO₂.

Кальциртит — характерный минерал щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов. Он был впервые диагностирован почти одновременно в Себль-Яврском массиве на Кольском п-ове [1] и в Гулинской интрузии на Алдане [5] в ассоциации с цирконом, бадделеитом, цирконолитом, сфеном, перовскитом, апатитом и магнетитом. Его находки известны также в кимберлитах ряда провинций мира, где он вместе с бадделеитом и цирконолитом образует реакционные каймы на зернах циркона кимберлитового типа.

В Украине мы впервые установили кальциртит в кимберлитах Новоласпинской трубки и сопряженной с ней дайки. Он встречен в основной массе в виде самостоятельных кристаллов размером меньше 10 мк, которые сформировались на позднемагматическом этапе из остаточного кимберлитового расплава и обычно ассоциируют с перовскитом и бадделеитом. Идиоморфные изометричные микрокристаллы кальциртита часто образуют сростки с удлиненно-призматическими кристаллами бадделеита или приурочены к границе кубических кристаллов перовскита с бесформенными выделениями кальцита (рис. 10). По отношению к бадделеиту и перовскиту кальциртит является более поздним минералом, а по отношению к кальциту — более ранним.

Результаты микронзондового анализа кальциртита приведены в табл. 10 (ан. 40–44). Пересчеты их на кристаллохимические коэффициенты показывают, что они близки к идеализированной формуле кальциртита CaZr₃TiO₉. Основные минералообразующие компоненты в нем составляют, %: ZrO₂ — 66,6–69,96; TiO₂ — 13,85–16,93; CaO — 12,15–16,94. Характерные примеси, %: HfO₂ — 0,89–1,33, FeO — 0,61–1,67, MgO — 0,23–0,36, SiO₂ — 0,04–0,43. Величина Zr/Hf варьирует от 45 до 69. Несмотря на высокое содержание TiO₂ и повышенное

FeO, в кальциртите почти полностью отсутствуют Nb и Ta. Нет также и PЗЭ.

Судя по взаимоотношению кальциртита с перовскитом и кальцитом, он имеет реакционно-магматическое происхождение. Кальциртит образовался в результате взаимодействия перовскита с обогащенным карбонатной составляющей остаточным кимберлитовым расплавом и за счет циркония, высвободившегося из перовскита и титаномагнетита.

Цирконолит имеет теоретический состав, %: CaO — 16,5; ZrO₂ — 36,3; TiO₂ — 47,1; HfO₂ — до 1. Идеализированная формула — CaZrTi₂O₇. Этот минерал характерен для карбонатитов и других щелочно-ультраосновных пород, в которых часто ассоциирует с бадделеитом, перовскитом, апатитом и кальцитом. Он известен также в кимберлитах, где входит в состав реакционных кайм на макрокристаллах цирконов кимберлитового типа, и в ксенолитах цирконсодержащих метасоматизированных перидотитов, в частности гарцбургитов из трубки Кимберли (Южная Африка) [18]. В кимберлитах Новоласпинских трубки и дайки цирконолит установлен в основной массе в виде единичных идиоморфных кристаллов микронных размеров или их включений в перовскитах, в разной степени замещенных сфеном и марганцевым ильменитом (рис. 10). Встречается он значительно реже, чем бадделеит и кальциртит. Содержание основных оксидов в нем составляет, %: TiO₂ — 34,3–36,4; ZrO₂ — 42,8–48,1; CaO — 11,2–12,3; FeO — 5,5–6,0 (табл. 10, ан. 45, 46). Важнейшие примеси, %: MgO — 0,8–0,85; ThO₂ — 0,4–0,5; Nb₂O₅ — 0,3–0,4; Ta₂O₅ — 0,17–0,35; HfO₂ — 0,60–0,77; SiO₂ — 0,1–0,2. Содержание PЗЭ достигает 1,0–1,5 %, легкие лантаноиды преобладают над тяжелыми; отношение Zr/Hf = 49–62, т. е. большее, чем в цирконе и развитием по нему бадделеите, но близкое к такому в кальциртите и бадделеите из основной массы кимберлитов.

Обсуждение результатов. Полученные данные о составе макрокристов циркона из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки однозначно свидетельствуют, что они идентичны или очень близки между собой и имеют большое сходство с цирконами кимберлитового типа из других регионов мира. Не вызывает сомнения их принадлежность к фенокристальным минералам, кристаллизовавшимся из протокимберлитового расплава, формировавшегося

в течение более 80 млн лет — от 469 ± 25 до 382 ± 33 млн лет тому назад. В процессе подъема высокотемпературного кимберлитового расплава к дневной поверхности макрофенокристы циркона интенсивно взаимодействовали с эволюционирующим по составу расплавом, что привело к возникновению на них реакционных кайм разной толщины. Наиболее агрессивное влияние на циркон оказывал в малоглубинных условиях остаточный кимберлитовый расплав, обогащенный карбонатной составляющей, а также K, Ti, P, F, PЗЭ, Nb и другими несовместимыми элементами.

Протокимберлитовый расплав образовался при низкой степени частичного плавления изначально деплетированных, а затем метасоматизированных пироповых дунитов, гарцбургитов и бедных клинопироксеном лерцоцитов, развитых в основании разреза верхней мантии на глубине 140—160 км. Многие ксенолиты и макрокристы минералов этих пород имеют признаки мантийного метасоматоза, который предшествовал кимберлитообразованию, а, возможно, и сопровождал его, обуславливая значительный привнос флюидов и несовместимых элементов.

Среди ксеногенных минералов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки изредка встречаются субкальциевые высокохромистые пиропы, характерные для деплетированных гарцбургитов архейского возраста. Пиропы этого и других парагенезисов из изученных кимберлитов на диаграмме Y/Ga — Zr/Y, заимствованной из работы [16], попадают в поле пиропов из архейской мантии. Наличие таких пиропов свидетельствует о том, что в верхней мантии района развиты сильно истощенные архейские перидотиты. Если бы охарактеризованные выше цирконы имели ксеногенное происхождение и поступали в кимберлиты в результате дезинтеграции перидотитов архейской мантии, то они дали бы архейский возраст. Все приведенные выше датировки цирконов соответствуют палеозою, а точнее ордовики (470—440 млн лет), силуру (440—417 млн лет), нижнему и среднему девону (417—382 млн лет). Таким образом, изученные цирконы из кимберлитов трубки и дайки можно считать интрателлурическими фенокристаллами.

Что же касается кайм на цирконах, то они имеют реакционную природу и возникли при воздействии на цирконы кимберлитового рас-

плава во время его движения к земной поверхности и связанной с этим сменой *PT* параметров и окислительного потенциала. Обогащенный MgO, K₂O, TiO₂, карбонатной составляющей и флюидами кимберлитовый расплав активно реагировал с неустойчивыми в этих условиях интрателлурическими фенокристаллами цирконов, извлекая из последних SiO₂ и преобразуя их в бадделит. За счет высвободившейся SiO₂ и компонентов кимберлитового расплава в промежутках между кристаллами бадделита образовались оливин, диопсид, сфен, апатит и кальцит. Особенности состава этих новообразованных минералов позволяют заключить, что они кристаллизовались на малых глубинах при постоянном снижении температуры расплава и повышении его окислительного потенциала. Судя по величине отношения Ca/(Ca + Mg), температура образования диопсида составляла 750—850 °С. Примерно при такой же температуре происходила кристаллизация диопсида из основной массы кимберлитов Новоласпинской трубки и сопряженной с ней дайки. Процессы десиликации цирконов при реакции с кимберлитовым расплавом носили локальный характер. Продукты реакции обычно не перемещались за пределы реакционных кайм и существенно не влияли на изменение химического состава кимберлитового расплава в целом.

Циркониевые минералы, обнаруженные в составе основной массы (матрикса) кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки, образовались в малоглубинных условиях непосредственно из остаточного кимберлитового расплава, имеющего сравнительно высокую температуру и повышенную флюидонасыщенность. На раннем этапе существования остаточного кимберлитового расплава из него кристаллизовались сначала преимущественно оливин и флогопит, а позднее также цирконийсодержащие титаномagnetит и перовскит. Это привело к обеднению оставшегося расплава Si, Mg, Fe, K, Ti, Al, Cr, V, Ba, Na, F, PЗЭ и значительному обогащению его карбонатной составляющей, P, Sr и Mn. Такой расплав-флюид обладал высокой реакционной способностью и активно взаимодействовал с ранее выделившимися силикатами и оксидами, в результате чего они частично или полностью были замещены новообразованными минералами. В частности, перовскит в разной степени был замещен вначале сфеном,

а потом Mn-ильменитом, а титаномагнетит — Mn-ильменитом. При этом содержащийся в них цирконий "сбрасывался" и за счет него происходило формирование оксидов циркония простого или сложного состава — бадделеита, реже кальцитрита и еще реже — цирконолита. Поскольку содержание ZrO_2 в титаномагнетите и перовските обычно не превышало 0,5 %, а реакционные каймы по этим минералам имели в основном небольшую ширину, то количество циркония, высвободившегося из них и перешедшего в остаточный кимберлитовый расплав было достаточным лишь для образования отдельных микрокристаллов его оксидов. Последние чаще всего локализовались в непосредственной близости от одиночных кристаллов перовскита и титаномагнетита или их сростков.

Кроме того, незначительная часть циркония оставалась в остаточном карбонатитоподобном расплаве вплоть до начала образования из него такситовых выделений кальцита позднемагматического типа с повышенным содержанием стронция. В отдельных таких выделениях кальцита обнаружены сростки из более чем 10 микрокристаллов бадделеита.

Такой видится нам упрощенная модель формирования циркониевых минералов в основной массе кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки.

Выводы. Впервые в среднедевонских (по геологическим данным) кимберлитах Новоласпинской трубки и сопряженной с ней одноименной дайки из восточной части Приазовского мегаблока Украинского щита диагностированы и изучены циркон, бадделеит, кальцитрит и цирконолит. Установлено, что все они образовались непосредственно из кимберлитового расплава, но на разных этапах его эволюции: циркон — на прототитовом, бадделеит, кальцитрит и цирконолит — на позднемагматическом. Изотопный возраст индивидуальных зерен циркона варьирует от 469 ± 25 до 382 ± 33 млн лет. По косвенным данным возраст бадделеита, кальцитрита и цирконолита ожидается близким к 382 млн лет. Если это предположение будет подтверждено U-Pb датировками, то продолжительность существования кимберлитового очага в восточной части Приазовского мегаблока составляла до 80 млн лет и зарождение его произошло не в девоне, а в позднем ордовике.

Исследование цирконов из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки показало, что по внутреннему строению и составу они имеют большое сходство между собой. То же касается реакционных кайм на них, часто подобных даже в деталях. Близки или идентичны по морфологии и составу также кристаллы бадделеита, кальцитрита, цирконолита и ассоциирующих с ними титаномагнетита и перовскита из основной массы кимберлитов. Это свидетельствует об однотипности механизмов их образования, важнейшими из которых являются кристаллизационное фракционирование кимберлитового расплава, а на этапе становления последнего кроме того аутометасоматоз и десиликация. Сочетание этих процессов и обусловило специфику минерального состава основной массы кимберлитов, последовательность выделения и изменения минералов, их типохимические и другие особенности.

В образовании бадделеита, кальцитрита и цирконолита большую роль сыграло реакционное взаимодействие циркона и цирконийсодержащих минералов (перовскита, в меньшей мере титаномагнетита и сфена) с обогащенной карбонатной составляющей и флюидами кимберлитовым расплавом на позднемагматическом этапе. Благодаря значительной вязкости этого расплава миграция высвободившегося циркония от его минералов-носителей была весьма ограниченной в пространстве.

Близость или идентичность морфологических и типохимических особенностей циркониевых минералов из кимберлитов Новоласпинской трубки и сопряженной с ней дайки мы рассматриваем как одно из важных свидетельств их происхождения из общего магматического очага.

1. Булах А.Г., Шевалевский И.Д. К минералогии и кристаллографии кальцитрита из щелочных пород и карбонатитов // Зап. Всесоюз. минерал. о-ва. — 1962. — Ч. 91, вып. 1. — С. 14—20.
2. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Черенков В.Г., Черенкова А.Ф. Цирконсодержащие эклогиты из ксенолитов в кимберлитах // Там же. — 1987. — Ч. 116, вып. 6. — С. 721—732.
3. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Мацюк С.С. и др. Первая находка цирконсодержащего ильменит-амфиболового пироксенита в кимберлитах // Там же. — 1990. — Ч. 119, вып. 4. — С. 23—31.
4. Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. — М.: Мир, 1989. — 430 с.

5. *Жабин А.Г., Пудовкина З.В., Быкова А.В.* Кальциртит из карбонатитов Гулинской интрузии ультраосновных пород в Полярной Сибири // Докл. АН СССР. — 1962. — **146**, № 6 — С. 1399—1400.
6. *Илупин И.П., Козлов И.Т.* Циркон в кимберлитах // Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. — М. : Наука, 1970. — С. 254—266.
7. *Краснобаев А.А.* Минералого-геохимические особенности цирконов кимберлитов и вопросы их генезиса // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1979. — № 8. — С. 85—96.
8. *Маршинцев В.К.* О находке бадделейта в кимберлитовых породах Якутии // Геология, петрография и минералогия магматических образований северо-восточной части Сибирской платформы. — М. : Наука, 1970. — С. 247—253.
9. *Панов Ю.Б.* Типоморфные химические особенности индикаторных минералов из кимберлитов Приазовья // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер. гірн.-геол. — 2001. — Вип. 32. — С. 44—52.
10. *Панов Б.С., Гриффин В.Л., Панов Ю.Б.* Особенности состава хромшпинелидов из кимберлитовых трубок Приазовья // Минерал. журн. — 1999. — **21**, № 2/3. — С. 53—60.
11. *Панов Б.С., Гриффин В.Л., Панов Ю.Б.* РТ условия образования Сг-пиропов из кимберлитов Украинского щита // Докл. НАН Украины. — 2000. — № 3. — С. 137—143.
12. *Панов Б.С., Панов Ю.Б., Гриффин В.Л.* Хромдиопсид из кимберлитов Приазовского кристаллического массива Украинского щита // Там же. — 1999. — № 2. — С. 131—135.
13. *Цымбал С.Н., Кременецкий А.А., Стрекозов С.Н., Бондаренко В.А.* Возраст кимберлитов Приазовского геоблока Украинского щита (по геологическим и изотопным данным) // Щелочной магматизм и рудоносность Земли. — Киев, 2007. — С. 245—248.
14. *Юткина Е.В., Кононова В.А., Богатиков О.А. и др.* Кимберлиты Восточного Приазовья (Украина) и геохимическая характеристика их источников // Петрология. — 2004. — **12**, № 2. — С. 159—175.
15. *Belousova E.A., Griffin W.L., Pearson N.J.* Trace element composition and cathodoluminescence properties of Southern African kimberlitic zircons // Miner. Mag. — 1998. — **62** (3). — P. 355—366.
16. *Boyd F.R., Gurney J.J.* Diamonds and the African Lithosphere // Science. — 1986. — **232**. — P. 472—477.
17. *Corfu F., Hanchar J.M., Hoskin P.W.O., Kinny P.* Atlas of Zircon Textures // Revs in Mineralogy and Geochemistry. — 2003. — **53**, No 1. — P. 469—500.
18. *Dawson J.B., Hill P.G., Kinny P.D.* Mineral chemistry of a zircon-bearing, composite, veined and metasomatised upper-mantle peridotite xenolith from kimberlite // Contribs Mineral. and Petrol. — 2001. — **140**. — P. 720—733.
19. *Kinni P.D., Meyer H.O.A.* Zircons from the mantle : a new way to date old diamonds // J. Geol. — 1994. — **102**. — P. 475—481.
20. *Kresten P., Fels P., Berggren G.* Kimberlitic zircons — a possible aid in prospecting for kimberlites // Miner. Deposita. — 1975. — **10**. — P. 47—56.
21. *Scatena-Wachel D.E., Jones A.P.* Primary baddeleyite (ZrO₂) in kimberlite from Benfontein, South Africa // Miner. Mag. — 1984. — **48**. — P. 257—261.
22. *Scharer U., Corfu F., Demaijfe D.* U-Pb and Lu-Hf isotopes in baddeleyite and zircon megacrysts from the Mbuji-Mayi kimberlite : Constraints on the subcontinental mantle // Chem. Geol. — 1997. — **143**. — P. 1—16.
23. *Tsybmal S.N., Kremenetsky A.A., Sobolev V.B., Tsybmal Y.S.* Zirconium minerals from kimberlites of Novolaspinsk pipe and associated dike (East Peri-Azovian) // Geochemistry of magmatic rocks : Abstr. of XXVII Intern. conf. School "Geochemistry of Alkaline rocks". — Moscow-Koktebel, 2010. — P. 201—202.

Поступила 13.01.2011

*С.М. Цимбал, О.О. Кременецкий,
В.Б. Соболев, Ю.С. Цимбал*

**МИНЕРАЛИ ЦИРКОНИЮ ІЗ КИМБЕРЛІТІВ
НОВОЛАСПІНСЬКИХ ТРУБКИ І ДАЙКИ
(ПІВДЕННИЙ СХІД УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)**

Кімберліти належать до слюдістих різновидів діатремової та гіпабісальної фацій. Вік їх за геологічними даними середньодевонський. У них виявлені та вивчені циркон, бадделейт, цирконоліт і кальциртит. Встановлено, що ці мінерали кристалізувались із кимберлітового розплаву на різних етапах його еволюції: циркон — на протоміагматичному, бадделейт, цирконоліт і кальциртит — на пізньоміагматичному. Циркон за складом подібний до цирконів кимберлітового типу із інших регіонів. Для нього характерний низький вміст U, Th і РЗЕ, HfO₂ = 1,2—1,8 %, εHf = 8—10. Ізотопний вік індивідуальних зерен циркону варіює від 469 ± 25 до 382 ± 33 млн рр. На це спирається висновок про те, що формування протокімберлітового розплаву і сингенетичного з ним циркону почалось у пізньому ордовіку, а вкорінення в земну кору відбулося у середньому девоні. На макрофенокристах цирконів поширені реакційні облямівки, складені мікрокристалами бадделейту (переважають), олівіну, діопсиду, сфену, фторопатиту, кальциту. Наведено склад цих мінералів. Температура утворення діопсиду варіює від 850 до 750 °С. У основній масі кимберлітів виявлено мікрокристали бадделейту, цирконоліту і кальциртиту. Вони утворилися внаслідок взаємодії залишкового кимберлітового розплаву-флюїду з виділеними раніше цирконійвмісними перовськітом, титаноміагнетитом та сфеном і за рахунок вивільненого з них цирконію. Бадделейт основної маси відрізняється від бадделейту із реакційних облямівок на макрокристах циркону дещо вищим вмістом ZrO₂, FeO і CaO, нижчим — HfO₂, TiO₂ і РЗЕ, більшим значенням Zr/Hf та відсутністю залежності між FeO і TiO₂. Наведено результати мікрозондового аналізу бадделейту, цирконоліту і кальциртити.

*S.N. Tsybal, A.A. Kremenetsky,
V.B. Sobolev, Yu.S. Tsybal*

ZIRCONIUM MINERALS FROM KIMBERLITES OF NOVOLASPINSK PIPE AND DIKE (SOUTH-EAST OF THE UKRAINIAN SHIELD)

Kimberlites are of micaceous variety. According to geological data they show Middle Devonian age. Such minerals as zircon, baddeleyite, zirconolite, calzirtite are found and studied in them. It is established, that they are crystallized from kimberlitic melt at different stages of its evolution. Zircon is crystallized at protomagmatic stage, but baddeleyite, zirconolite, calzirtite do at late magmatic stage.

Zircon is represented by grains of irregular shape up to 2–3 mm in size with reactionary rims along the edges. Its composition varies within (%): ZrO_2 – 64.7–66.3; SiO_2 – 32.0–32.7; HfO_2 – 1.2–1.8. Y_2O_3 (to 0.07 %), U (4–60 ppm), Th (1–42 ppm) and REE (11.3–37.5 ppm). $Zr/Hf = 31–46$, $Th/U = 0.25–0.70$ are established as admixtures. Among heavy REE Dy, Er and Yb are prevailed and Ce and Sm are among light REE. Value recalculated on zircon age is $\epsilon Hf = 8–10$. Ten individual grains of zircon (21 analyses) were dated by U-Pb method with using ionic microprobe *SHRIMP-II* method. Their age values range from 382 ± 33 to 469 ± 25 million years. These data testify that formation of protokimberlitic melt and zircons syngenetic to it has begun in Late Ordovician and melt emplacement in earth crust has occurred in Middle Devonian.

Reactionary rims on zircon phenocryst were formed as a result of interaction of these phenocryst with kimberlitic melt at late magmatic stage of its evolution. They are comprised by baddeleyite (prevailed), olivine, diopside, sphene, apatite and calcite. All these minerals have reactionary-magmatic origin.

Baddeleyite forms zoned microcrystals. In their central part ZrO_2 varies from 90.6 to 95.6 %, TiO_2 does from 1.6 to 6.2 %, and FeO from 0.2 to 0.8 %. Distinct inverse relations are observed between ZrO_2 and TiO_2 , ZrO_2 and FeO and direct relation between TiO_2 and FeO. $HfO_2 = 1.8–2.5$ %, $Zr/Hf = 33–42$. Often they have admixtures of

Ta_2O_5 (to 0.25 %), ThO_2 (to 0.08 %), Y_2O_3 (to 0.06 %), REE.

Olivine, according to the structure of its alteration products, was primarily forsterite.

Diopside is represented by low chromium variety with iron content from 6.2 to 15.8 %. Content of TiO_2 ranges from 0.07–0.15 to 1–2 %, Al_2O_3 from 0.01 to 0.78 %, Na_2O from 0.18 to 0.57 %, ZrO_2 from 0.1 to 0.8 %. Aluminium occurs in tetrahedral coordination. $Ca/Ca + Mg = 0.51–0.53$. The equilibrium temperature of diopside varies from 850 to 750 °C.

Sphene was crystallized later than diopside. The contents of mineral forming oxides are (%): CaO – 27.5–27.9; TiO_2 – 34.1–35.6; SiO_2 – 30.1–31.5. Among admixtures are established, %: FeO (0.6–2.5), V_2O_5 (0.20–0.55), Al_2O_3 (0.1–1.8), ZrO_2 (0.4–1.3), REE (0.2–0.5), Nb_2O_5 (to 0.45).

Apatite corresponds in composition to fluorine-apatite ($F = 2.0–3.1$ %) and show raised contents of SrO (0.6–1.3 %), ZrO_2 (0.4–0.8 %) and REE (to 1 %).

Calcite has such admixtures as SrO (0.75–0.90 %), BaO (to 0.4 %) and ZrO_2 (to 0.4 %).

In the ground mass of kimberlites micro phenocrysts of baddeleyite, zirconolite, calzirtite were established.

They were formed as a result of interaction of residual kimberlitic melt-fluid with earlier segregated zirconium bearing perovskite, titanium-magnetite and sphene at the expense of the zirconium released from them. Baddeleyite from ground mass differs from that one of reactionary rims formed on zircon macrocrysts by more high content of ZrO_2 , FeO and CaO, lower HfO_2 , TiO_2 , REE, large values of Zr/Hf and absence of any relation between FeO and TiO_2 . Calzirtite has following composition (%): ZrO_2 – 66.6–69.9; TiO_2 – 13.8–16.9; CaO – 12.1–16.9; HfO_2 – 0.9–1.3; FeO – 0.6–1.6; MgO – 0.23–0.36; $Zr/Hf = 45–69$. The composition of zirconolite varies within (%): ZrO_2 – 42.8–48.1; TiO_2 – 34.3–36.4; CaO – 11.2–12.3; FeO – 5.5–6.0; HfO_2 – 0.60–0.77; REE – 1.0–1.5; ThO_2 – 0.4–0.5; Nb_2O_5 – 0.3–0.4; Ta_2O_5 – 0.17–0.35; MgO – 0.8–0.9; SiO_2 – 0.1–0.2; $Zr/Hf = 49–62$.