

ПРИРОДА КАРБОНАТА В БРЕКЧИЯХ КИМБЕРЛИТОВ РАЙОНА ГОРЫ БЛАГОДАТЬ (ЗАПАДНЫЙ СКЛОН СРЕДНЕГО УРАЛА)

Представлены результаты петрографических и петрогеохимических исследований брекчий кимберлитов горы Благодать, находящихся на западном склоне Среднего Урала. Определен изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ в карбонате брекчий и ксенолита шпинелевого перидотита. Установлено, что по содержанию редких и редкоземельных элементов карбонатизированные брекчии близки к некарбонатизированным брекчиям и не соответствуют карбонатитам. Полученный изотопный состав углерода, кислорода и стронция карбоната брекчий кимберлитов позволяет предполагать, что основной источник карбонатизирующих флюидов связан с коровым компонентом.

Ключевые слова: *западный склон Среднего Урала, карбонатизация среднепалеозойских кимберлитов, состав $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ карбонатитов.*

The article presents the results of petrographical and geochemical research of kimberlite breccias of Mount Blagodat located on the western side of the Middle Urals. Determined the isotopic composition $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ of carbonates of breccias and xenolith of spinelle peridotite. It was found that the content of rare elements and rare earth metals of the carbonated breccias similar the not carbonated breccias and does not match the carbonatites. The obtained data on the isotopic composition of carbon, oxygen and strontium in carbonate of kimberlite breccias suggest that the source of carbonated fluids associated with the crust component.

Keywords: *western side of the Middle Ural Mountains, carbonation of Middle Paleozoic kimberlites, composition $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ of carbonates.*

Карбонатизированные брекчии кимберлитов района горы Благодать западного склона Среднего Урала, содержащие карбонатный материал от 20 % и выше, рассматривались предшественниками как магматические карбонатиты [5] или как карбонатные породы гидрохимического происхождения (Е. И. Шеманина, Л. П. Лобкова, 1981).

В настоящее время установлено, что карбонат в кимберлитах имеет полигенное происхождение [4, 6, 8, 10]. Кальцит, присутствующий в кимберлитах в виде лейст и имеющий температуру кристаллизации 680–750 °С, является магматическим, как и кальцит из карбонатитов. Кимберлиты, содержащие магматический карбонат, характеризуются полосчатой и такситовой текстурой с чередованием полос, линз и округлых пятен силикатного и кальцитового состава, структура пород гломерозернистая, гломеропорфировая или флюидално-микрولитовая. Такие кимберлиты относятся к карбонатитовым [2, 4, 10]. Их распространение ограничено гипабиссальной фацией (дайки, силлы), они известны в Якутии, Юж. Африке (Бенфонтейн), Канаде (район Квебека) [4], Вост. Антарктике (массив Фишер) [15].

Совместно с магматическим кальцитом в кимберлитах присутствует низкотемпературный (225–253 °С) кальцит, образующийся в гидротермальную стадию формирования пород [6, 10].

При исследовании изотопного состава С, О и Sr в карбонатах из кимберлитов Якутской провинции С. И. Костровицкий [8] пришел к выводу о полигенности источников карбонатной составляющей, образованной за счет мантийного источника и ассимиляции осадочного карбоната.

Геологическое строение. Кимберлиты совместно с разновозрастными трахидолеритами в районе горы Благодать слагают два линзовидных меридионально вытянутых тела размером $\sim 2 \times 0,5$ км, локализованных в крыльях синклинали складки (рис. 1). Вмещающими отложениями являются вулканогенно-терригенные породы нижнего девона, в которых на контакте с интрузивами развиты зоны интенсивного дробления мощностью 20–50 м, ороговикования, окремнения, хлоритизации, гематитизации и карбонатизации.

Кимберлиты – маломощные трубообразные, жильные и дайковые тела с преобладанием брекчий диатремовой фации [1, 3]. Породы преобразованы вторичными процессами, в том числе неравномерно карбонатизированы. Наиболее мощная карбонатизация приурочена к зонам тектонических нарушений. На контактах эксплозивных брекчий кимберлитов с вмещающими осадочными породами находятся массивные кальцит-доломитовые образования мощностью 16–20 м. По мере удаления от подобных зон внутрь тела кимберлитовых брекчий сплошная карбонатизация постепенно сменяется густой сетью прожилков мощностью от 1 м до 1 мм. В брекчии присутствуют полностью карбонатизированные глубинные ксенолиты (перидотиты, дуниты).

Кроме того, карбонат участвует в составе более поздних прожилков и жил мощностью до 0,5 м, пересекающих брекчии кимберлитов и массивные карбонатные новообразованные породы [5]. Они выполнены кальцитом, содержат сульфиды (пирит, халькопирит, галенит, реже киноварь) и образова-

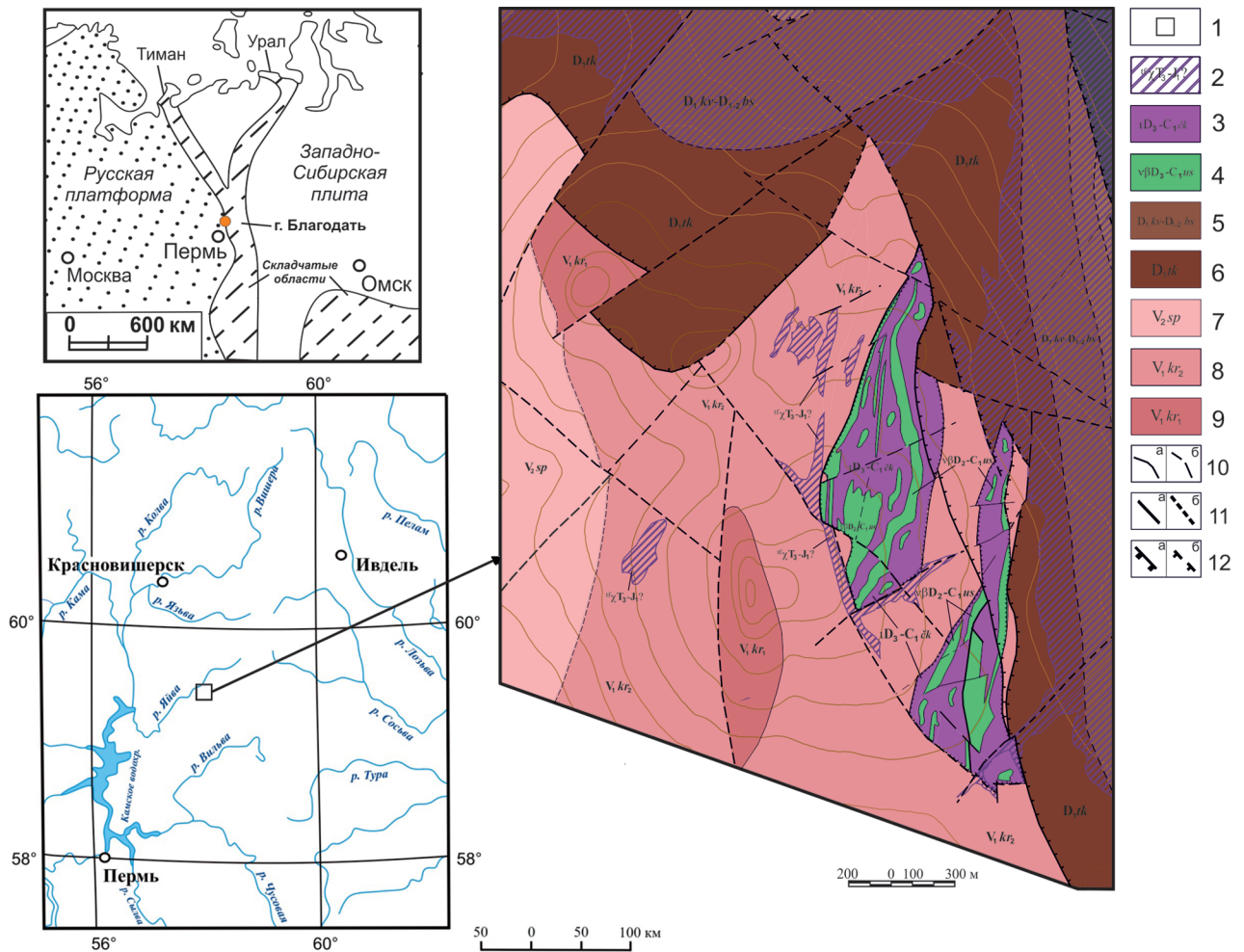


Рис. 1. Местоположение и геологическое строение района горы Благодать, по данным [1]

1 – гора Благодать; 2 – полюдово-ксенофоновский комплекс аргиллизированных лампроитоподобных ксенотуффизитов; 3 – чикманский кимберлитовый комплекс; 4 – усвинский долерит-трахидолеритовый комплекс; 5 – койвенская и бийская свиты нерасчленённые (аргиллиты, алевролиты, известняки); 6 – такатинская свита (кварцевые песчаники, редкие прослои алевролитов, аргиллитов); 7 – старопечнинская свита (алевролиты, аргиллиты, песчаники, в основании конгломераты); 8 – верхнекерноская подсвита (алевролиты, аргиллиты, песчаники, гравелитопесчаники; трахибазальты, трахиандезитобазальты); 9 – нижнекерноская подсвита (песчаники, аргиллиты, алевролиты); 10 – геологические границы (а – достоверные, б – предполагаемые); 11 – разломы (а – достоверные, б – предполагаемые); 12 – надвиги (а – достоверные, б – предполагаемые)

лись в гидротермальную стадию за счет постмагматических растворов.

Для выяснения природы карбоната в брекчиях кимберлитов района горы Благодать выполнены петрографический и рентгенофазовый анализы, проведены петрогеохимические исследования состава брекчий кимберлитов и карбонатизированного шпинелевого перидотита – типичного ксенолита брекчий кимберлитов. Природа карбонатизации уточнялась при определении изотопного состава углерода, кислорода и стронция в карбонате этих пород.

Методы аналитических исследований. Химический и рентгенофазовый состав пород определен в ЦЛ ВСЕГЕИ. Петрогенные элементы (мас. %) пород установлены рентгеноспектральным флуоресцентным методом (ARL-9800, аналитик Б. А. Цимошенко), редкие и редкоземельные элементы (г/т) – методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS (DRC-6100, аналитик В. А. Шишлов). Состав минералов ана-

лизировался в шлифах на электронно-микроскопическом микрозондовом анализаторе CAM-Scan MV-2300 (аналитик В. Ф. Сапега). Рентгенофазовый анализ пород выполнен по стандартной методике [14] на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6 (аналитик В. Ф. Сапега). Обработка спектров проводилась при помощи программного пакета PDWin-4 и международной картотеки JCPDS. Количество фаз определялось по методу Ритфельда. Изотопные исследования проведены в ЦИИ ВСЕГЕИ. Изотопный состав С и О диагностировался на масс-спектраторе DELTA plus XL по методике IRM-MS. Ошибка измерений для углерода 0,1–0,2, для водорода 0,1–0,3 ‰. Результаты измерений приведены к международным стандартам PDB для углерода и SMOW для кислорода. Изотопный состав Sr определялся на масс-спектраторе TRITON в статическом режиме.

Вещественный состав карбонатизированных пород. Для исследования карбоната кимберлитов горы Благодать были отобраны карбонатизированные

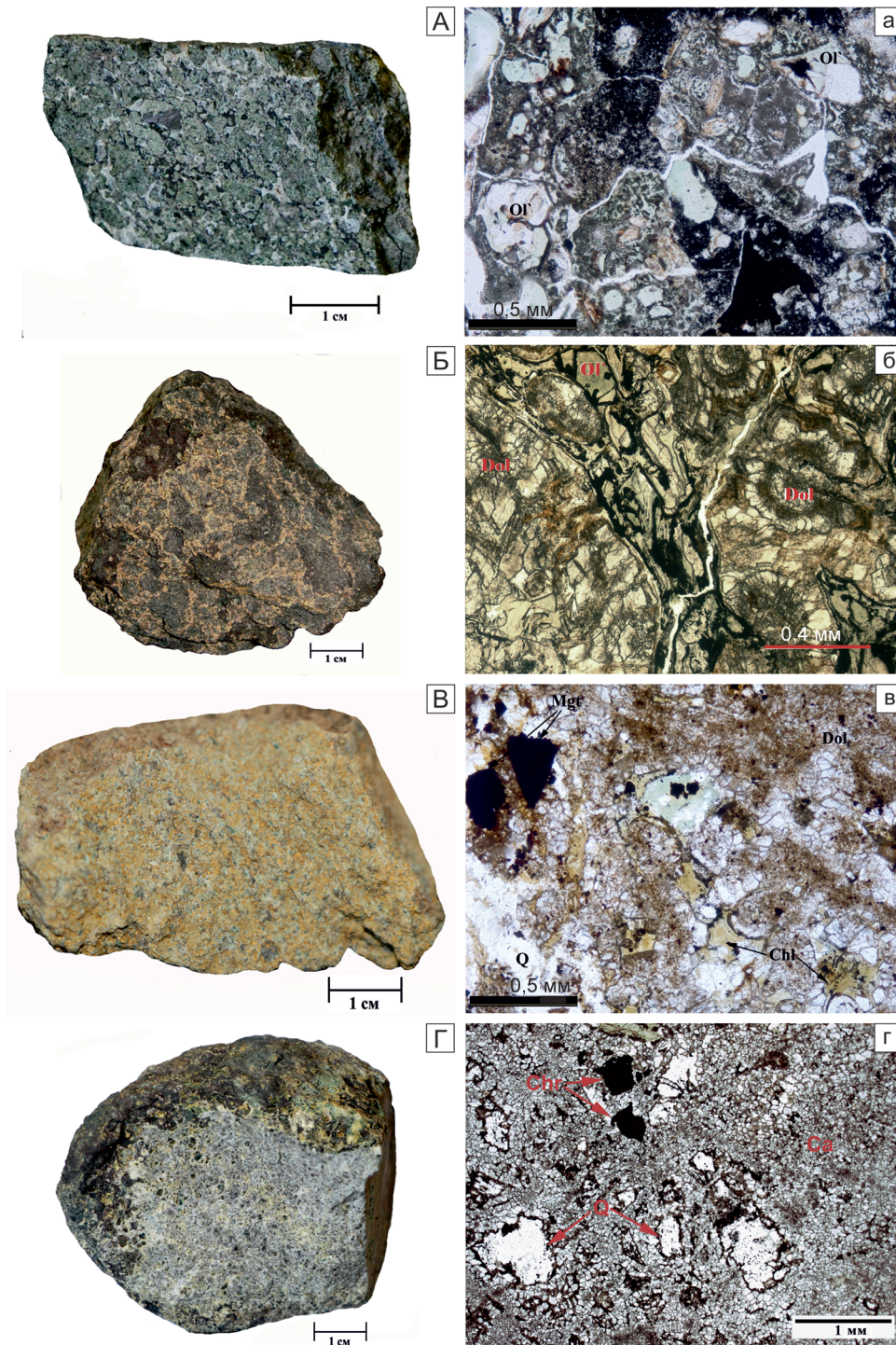


Рис. 2. Образцы и шлифы карбонатизированных пород района горы Благодать

A-a – кальцитовая брекчия кимберлитов (обр. 17-506, шл. 17-505). *Б-б, В-в* – доломитовые брекчии кимберлитов (обр., шл. 17-595 и обр. 17-700, шл. 17-715), *Г-г* – ксенолит шпинелевого перидотита (обр., шл. 17-595). Фото шлифов – николи параллельны

брекчии кимберлитов и ксенолит шпинелевого перидотита (рис. 2).

Наименее карбонатизированные (менее 50 %) брекчии представлены зеленовато-серыми, желтовато-голубовато-серыми породами, содержащими ксенолиты глубинных (мантийных) пород, обломки пород фундамента, осадочного чехла, трахибазальтов. Связующая масса брекчий имеет микропорфировую структуру и миндалекаменную текстуру. Карбонат серого и рыжевато-желтого цвета вы-

полняет прожилки, рассекающие породу в разных направлениях, и отдельные вкрапленники цемента брекчий (рис. 2, *A, Б*).

Брекчии кимберлитов, в которых карбонат преобладает (более 50 %), имеют желтовато-голубовато-серый, голубовато-рыжевато-желтый цвет и массивную текстуру (рис. 2, *В*). Доломит в виде горчично-желтых кристаллов иногда полностью замещает микропорфировую связующую массу брекчий.

При микроскопическом исследовании пород установлено, что не замещенная карбонатом связующая масса брекчий имеет кластопорфировую и порфиоровую структуру, такситовую, миндалекаменную текстуру с элементами катаклаза и флюидалности. Породообразующие минералы представлены измененными оливином, мелилитом и слюдой, которые были диагностированы по характерным кристаллографическим очертаниям и составу продуктов их замещения. Оливин размером от $0,6 \times 0,3$ до $0,1$ мм наиболее распространен и присутствует в виде ксенокристов (?), вкрапленников и микролитов. Он замещен сапонит-смактитом, хлорит-гидрослюдистым и кремнистым агрегатами, гематитом. Реже встречаются слюда (флогопит?) ($\sim 0,24 \times 0,15$ мм) и мелилит ($\sim 0,2 \times 0,1$ мм), замещенные хлоритом и гидрослюдой. Во вторичных продуктах слюды присутствует гематит. Для мелилита характерны срединный шов и поперечная удлиненность спайности.

Минералы заключены в апостекловатую, миндалекаменную или микролитовую основную массу, замещенную хлоритом, иллит-смактитом, кварцем и в разной степени обогащенную пылевидным окисленным рудным минералом.

Миндалины (10–30 %) в апостекловатой связующей массе брекчий имеют различную форму, размер от $0,15 \times 0,15$ до 1 мм и выполнены хлоритом.

Карбонат в брекчиях кимберлитов представлен кальцитом и доломитом (15–80 %), замещает цемент брекчий, псевдоморфозы сапонит-смакタイト ксенокристов и вкрапленников оливина и микролитов мелилита, слюды, хлорит миндалины.

Увеличение содержания карбоната в породе приводит к смене брекчиевой текстуры и порфиоровой структуры массивной текстурой и мелко-среднекристаллической структурой, что свидетельствует о ее перекристаллизации.

Исследуемые образцы брекчий кимберлитов различаются по составу карбонатов: кальцитовые и доломитовые.

В кальцитовых брекчиях кимберлитов карбонат в виде чистых крупных кристаллов выполняет псевдоморфозы сапонит-смакタイト по ксенокристам, вкрапленникам и микролитам породы (рис. 2, а). Участки связующей массы брекчий, замещенные кальцитом, имеют неравномерно кристаллическую структуру от мелкокристаллической до крупнокристаллической, цвет от серого до буровато-серого за счет неоднородного распределения микровключений железистых минералов в кальците.

По результатам рентгенофазового количественного анализа, в составе породы преобладают кварц 34, кальцит 26, хлорит 18 и хлорит-смактит (корренсит) 17 %, в меньшем количестве гематит 3 и анатаз 2 %.

В доломитовых брекчиях кимберлитов (рис. 2, б) карбонат присутствует в виде зональных ромбов и их сростков (40–80 %) размером от $0,05$ до $2-3$ мм, замещающих псевдоморфозы сапонит-смакタイト по ксенокристам и вкрапленникам оливина и связующую массу породы. Зональная часть кристаллов доломита имеет рыжеватобурый цвет, отдельные зоны выделяются по наличию пленок гидроокислов. В породе присутствуют редкие (0–2 %) микропрожилки кальцита, секущие более ранний карбонат.

Полностью замещенные доломитом брекчие кимберлитов (рис. 2, в) сложены средне-микрокристаллическим незональным доломитом серого

и бурого цвета, пронизанным микропрожилками кварца (15 %). Несмотря на сильную карбонатизацию, в породе присутствуют участки (5 %) с сохранившимся силикатным материалом, представленные в основном хлоритом с идиоморфными кристаллами магнетита и их сростками (5 %).

Рентгенофазовый количественный анализ доломитовых брекчий кимберлитов показал, что породы характеризуются однотипным набором вторичных минералов и содержат доломит 53–91, кварц 3–22, хлорит-смактит (корренсит) 0–12, гематит 0–5, кальцит 2–3, анатаз 1–2, хлорит 3 и стронцианит до 1 %.

Карбонатизированный ксенолит шпинелевого перидотита размером 6×8 см имеет эллипсоидную форму (рис. 2, г) и представляет собой плотную породу желтовато-серого цвета с массивной текстурой. Она сложена мелкокристаллическим карбонатом и кварцем. По контуру ксенолита наблюдается желтовато-зеленовато-темно-серая каемка карбонатизированной связующей массы брекчий кимберлитов.

При микроскопическом исследовании установлено, что порода ксенолита состоит из мелкокристаллического кальцит-доломита (~ 80 %) и псевдоморфоз смакタイト по оливины (~ 15 %) субизометричной угловатой формы ($0,3 \times 0,3 - 2 \times 1,5$ мм), неравномерно замещенного кварцем, реже карбонатом (рис. 2, з). Соотношение карбоната с кварцем наследует облик петельчатой структуры первичной породы. Рудные минералы ксенолита представлены хромшпинелидом (~ 1 %) и магнетитом (~ 5 %). Хромшпинелид имеет бурый цвет и присутствует в виде ксеноморфных зерен ($0,25 \times 0,15 - 2 \times 0,6$ мм) с прерывистой келифитовой каймой. По составу хромшпинелид относится к алюмохромиту и имеет незначительные вариации содержаний основных компонентов (в вес. %, по двум анализам): в центре $Al_2O_3 = 44,10-43,69$; $Fe_2O_3^* = 15,45-16,33$; $Cr_2O_3 = 24,16-23,10$; $MgO = 16,29-16,87$ и в кайме $Al_2O_3 = 35,28-38,35$; $Fe_2O_3^* = 12,45-12,05$; $Cr_2O_3 = 36,82-31,88$; $MgO = 15,45-15,54$. Магнетит – вторичный минерал в породе, образует точечные вкрапления и сегрегации в псевдоморфозах кварца по смакタイトу, распределяясь по контуру и по трещиноватости минерала. В состав магнетита в виде примесей входят $TiO_2 \sim 2,45$ и $Cr_2O_3 \sim 1,39$ %.

Результаты рентгенофазового количественного анализа ксенолита показали, что он сложен доломитом на 80, кварцем 12, кальцитом 3, хлоритом и хлорит-смактитом (корренситом) 4 %; менее 1 % составляют стронцианит, гематит, анатаз и барит.

Состав вторичных минералов и характер их замещения в исследуемых породах свидетельствуют о том, что кимберлиты горы Благодать преобразованы последовательными метасоматическими процессами. Серпентинизация пород произошла на ранней стадии преобразований вследствие автотметасоматоза. Впоследствии породы претерпели хлоритизацию, глинизацию, гематитизацию, вероятно, под воздействием гидротермальных растворов, образовавшихся в результате внедрения трахидолеритов. Наиболее поздние изменения пород проявились в карбонатизации и окварцевании, проходивших под воздействием кислотного метасоматоза типа лиственитизации [7].

Петрогеохимическая и изотопно-геохимическая характеристика исследуемых пород. Как отмечалось

ранее [3], петрохимический состав некарбонатизированных кимберлитовых брекчий по сравнению с кимберлитами разных провинций мира характеризуется повышенными содержаниями кремнезема, глинозема, железа и низкими магния, обусловленными метасоматическими изменениями пород. В карбонатизированных брекчиях кимберлитов (табл. 1) с увеличением содержания карбоната (кальцита, доломита) наблюдается уменьшение содержания кремнезема, глинозема, окисного железа, калия и увеличение закисного железа,

что свидетельствует о неоднократном перераспределении петрогенных элементов.

В брекчиях кимберлитов и их карбонатизированных разностях содержания редких и редкоземельных элементов близки (табл. 1, рис. 3), за исключением полностью карбонатизированной брекчии. Карбонатизированный ксенолит шпинелевого перидотита отличается наиболее низкими содержаниями редких и редкоземельных элементов, что характерно для мантийных перидотитов. По отношению La/Yb имеется небольшое различие:

Таблица 1

Состав брекчий кимберлитов

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	50,4	55,6	52,1	42,3	35,7	35,6	24,9	15,5	26,5
TiO ₂	2,53	2,58	2,28	2,13	2,31	1,58	1,06	0,4	0,26
Al ₂ O ₃	11,9	12,1	12,8	9,97	8,74	7,74	5,02	2,08	1,69
Fe ₂ O ₃	10,3	14,1	12,8	11,4	8,66	8,3	5,93	2,57	5,07
FeO	1,05	0,57	0,72	0,97	2,79	0,72	1,29	1,05	0,125
MnO	0,089	0,1	0,032	0,17	0,14	0,23	0,21	0,16	0,19
MgO	8,84	4,75	6,81	8,19	13,3	3,76	10,4	17	11,6
CaO	2,74	0,85	1,21	8,06	12,4	20,3	23,8	24,7	24,2
Na ₂ O	0,44	0,025	0,025	0,025	0,025	0,14	0,025	0,21	0,055
K ₂ O	4,08	3,57	3,52	3,26	0,48	2,52	1,11	0,13	0,32
P ₂ O ₅	1,68	0,33	0,2	0,11	0,41	0,2	0,25	0,08	0,083
п.п.п.	5,67	5,51	7,49	13,3	14,8	18,9	25,9	36	29,7
Сумма	99,8	100	100	100	100	100	100	100	99,8
Rb	90,3	73,1	80,4	89,6	13,1	49,3	23,6	3,18	7,21
Sr	50	15	30	35	102	123	86,8	39,1	65,4
Y	39,1	22,7	16,8	20,4	20,6	15,8	11,6	5,98	6,57
Zr	143	139	118	140	141	87,8	68,3	28	20,1
Nb	58	54,2	46	59,3	51,1	31,4	26,3	12,2	9,86
Ba	146	127	108	198	77,9	222	116	130	963
La	77,7	37,1	15,5	72,6	45,1	28,6	47	10,2	16,9
Ce	126	72,3	18,7	122	84	55,4	61,7	18,4	30,3
Pr	17,2	8,24	3,71	12,7	10,2	5,75	4,43	2,17	3,05
Nd	69,3	33,2	15,7	42,3	39,3	22,5	17,8	8,43	11,3
Sm	14,6	7,04	3,43	7,41	7,73	4,58	3,46	1,73	2,25
Eu	4,32	2,28	1,24	2,28	2,29	1,31	1,13	0,55	0,76
Gd	13,4	7,17	3,7	7,61	7,27	4,24	3,4	1,63	2,04
Tb	1,75	0,97	0,51	0,81	0,95	0,57	0,44	0,23	0,29
Dy	8	4,66	2,8	4,43	4,11	2,97	2,29	1,19	1,41
Ho	1,43	0,85	0,61	0,76	0,75	0,56	0,43	0,19	0,24
Er	3,32	2,17	1,54	1,82	1,75	1,4	0,85	0,56	0,57
Tm	0,37	0,23	0,22	0,26	0,22	0,17	0,13	0,061	0,067
Yb	2,17	1,49	1,38	1,54	1,17	1,12	0,8	0,38	0,45
Lu	0,31	0,21	0,2	0,22	0,18	0,14	0,11	0,061	0,059
Hf	3,57	3,35	2,47	3,14	3,42	1,98	1,41	0,65	0,47
Ta	3,1	3,09	2,39	4,14	3,1	1,9	1,14	0,38	0,26
Th	5,85	5,83	5,37	7,18	5,62	4,47	2,81	1,27	0,7
U	1,85	1,08	0,92	0,75	1,24	0,57	1,07	0,64	0,29
La/Yb	35,81	24,90	11,23	47,14	38,55	25,54	58,75	26,84	37,55

Примечание: 1–8 – брекчии кимберлитов (пробы 17-607, 17-670, 19-166,5/3, 17-601, 17-505, 17-552, 17-590, 17-715), из них 4–8 – карбонатизированные; 9 – карбонатизированный ксенолит шпинелевого перидотита (пр. 17-595).

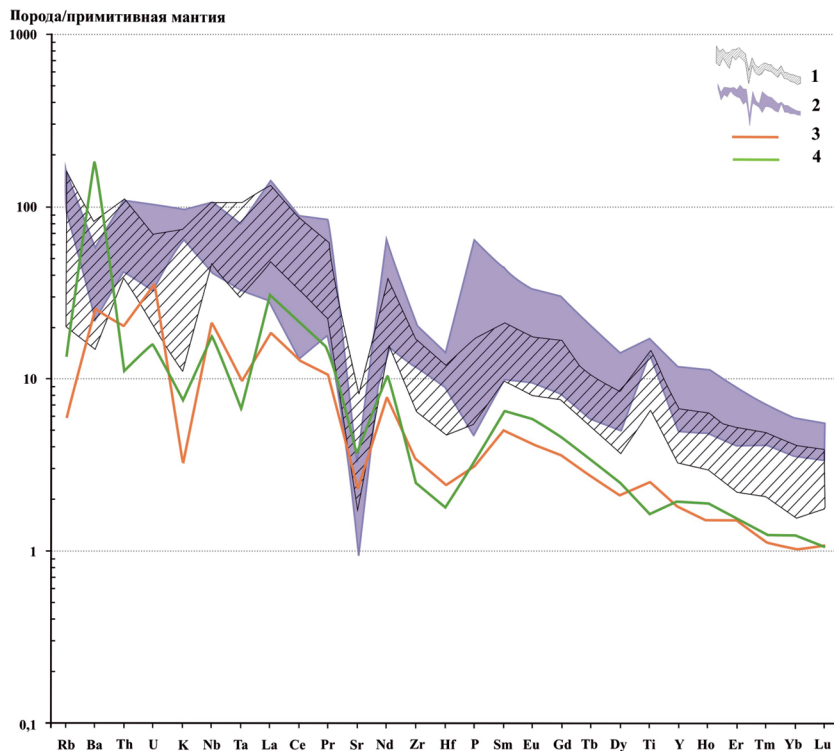


Рис. 3. Распределение редких и редкоземельных элементов в исследуемых породах. Нормирование содержаний редких и редкоземельных элементов проведено по составу примитивной мантии [13]

1 – карбонатизированные брекчии кимберлитов ($n = 10$) с содержанием $\text{CaO} + \text{MgO}$ от 24 до 34 %; 2 – брекчии кимберлитов ($n = 8$), где CaO в среднем $\sim 1,17\%$ (от 0,73 до 2,74); 3 – полностью карбонатизированная брекчия с содержанием $\text{CaO} + \text{MgO}$ 31,7 %; 4 – карбонатизированный шпинелевый перидотит

в брекчиях, в которых карбонат отсутствует, оно от 35,80 до 11,23 ($n_8 = 21,46$ г/т), а в карбонатизированных брекчиях от 58,75 до 25,53 ($n_{10} = 37,141$ г/т). Такое поведение редкоземельных элементов, вероятно, объясняется нахождением в ассоциации с карбонатами новообразованного апатита.

Карбонатизированные породы в отличие от брекчий, не содержащих карбонат, характеризуются широкими вариациями содержаний Ва и Sr и в некоторых случаях более высокими их значениями (рис. 3), обусловленными неравномерным распределением барита и стронцианита в породе. Наличие этих минералов в брекчии подтверждено рентгенофазовым и микронзондовым анализами.

Изотопными исследованиями установлено, что карбонат в кимберлитах района горы Благодать характеризуется разными величинами $\delta^{13}\text{C}$ 2,9, $-1,4 \dots -5,4$, $\delta^{18}\text{O}$ 19,3...+31,4 ‰ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (табл. 2).

Состав изотопов углерода карбоната брекчий кимберлитов и ксенолита района горы Благодать (рис. 4) соответствует изотопным значениям углерода пресноводных и морских карбонатных пород

[16], карбоната основной массы кимберлитов [4] и уральских алмазов от $-18,9$ до 2,3 ‰ [17].

В полностью карбонатизированной брекчии состав изотопов углерода и кислорода имеет максимальные положительные значения +2,9 и +31,4, что, возможно, свидетельствует о более длительном воздействии карбонатсодержащих растворов на породу.

Полученные значения изотопов кислорода и стронция в карбонате брекчий кимберлитов и ксенолита свидетельствуют об участии в его кристаллизации корового источника (рис. 4, 5).

Карбонаты из брекчии (пр. 17-590) и ксенолита шпинелевого перидотита (пр. 17-595) по значениям изотопов углерода ($-4,7$ и $-5,4$ ‰) близки к мантийным меткам [12]. Возможно, это связано с тем, что образцы отобраны для исследования из тела брекчий кимберлитов, максимально насыщенных ксенолитами разного размера, и, следовательно, часть мелких ксенолитов и ксенокрист могла быть в отобранной пробе и влиять на общий состав изотопа углерода.

Таблица 2

Изотопный состав С, О и Sr в карбонате брекчий кимберлитов

Порода, проба	Содержание * карбоната в породе, %		$\delta^{13}\text{C}$, ‰, VPDB	$\delta^{18}\text{O}$, ‰, VSMOW	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
	Доломит	Кальцит			
Брекчии кимберлитов					
17-505	—	26 ± 3	-1,7	19,3	—
17-590	91 ± 5	2 ± 1	-4,7	23,9	$0,709006 \pm 14$
17-690	53 ± 5	3 ± 1	-1,4	27,1	—
17-715	90 ± 5	2 ± 1	2,9	31,4	—
Карбонат шпинелевого перидотита, пр. 17-595	79 ± 5	3 ± 1	-5,4	26,8	$0,708435 \pm 21$

* Определено рентгенофазовым количественным анализом в лаборатории ВСЕГЕИ, аналитик В. Ф. Сапега.

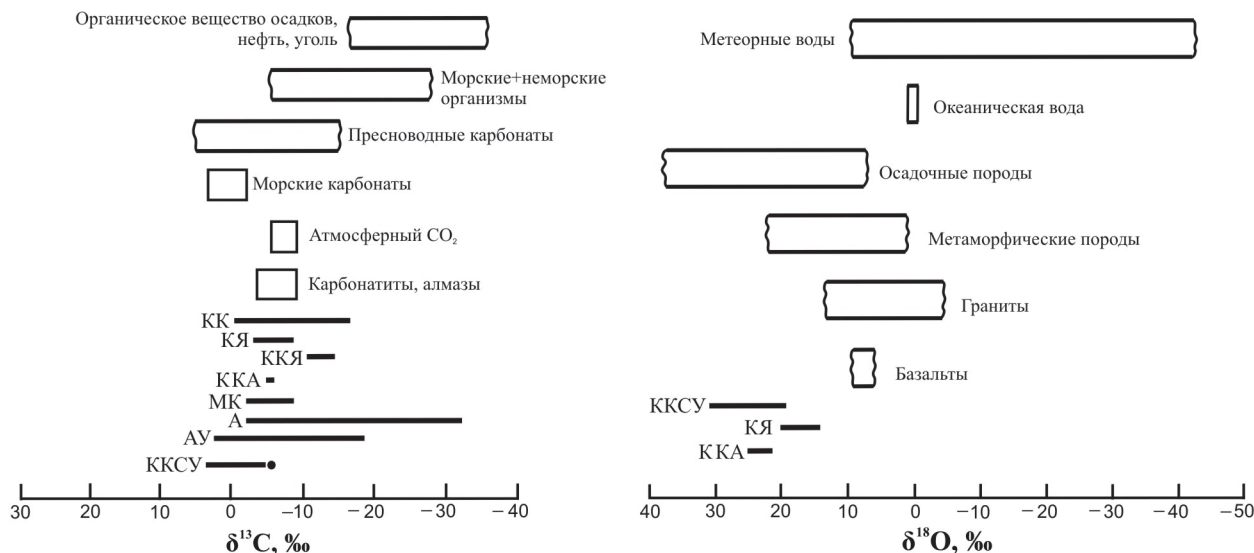


Рис. 4. Вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ для карбонатов из разных источников и пород района горы Благодать. График Й. Хевса (2009) с дополнениями

КК – карбонат основной массы кимберлитов [4], КЯ – кимберлиты Якутии [8], ККА – карбонатизированные кимберлиты Якутии [8], ККА – карбонатизированные кимберлитовые силлы Мельского поля, Архангельской субпровинции [11], МК – магматический карбонатит [4], А – алмазы [4], АУ – алмазы из уральских россыпей [17], ККСУ – карбонат брекчий кимберлитов Среднего Урала, черный кружок – карбонат ксенолита шпинеливого перидотита из брекчий кимберлитов

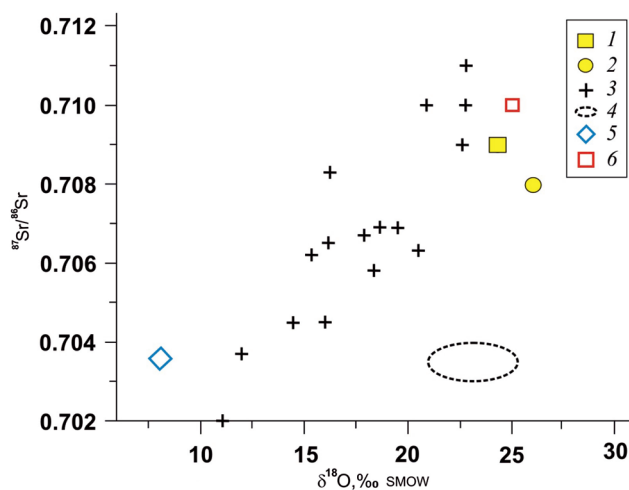


Рис. 5. Соотношение изотопных составов Sr и кислорода в карбонатах исследуемых пород в сравнении с изотопными данными по карбонатам из кимберлитов Якутской и Архангельской алмазоносных провинций. Диаграмма по С. И. Костровицкому [8] с дополнениями

Изотопный состав карбоната: 1, 2 – брекчий кимберлитов и шпинелевого перидотита (гора Благодать); 3 – кимберлитов Якутской алмазоносной провинции [8]; 4 – карбонатизированные кимберлитовые силлы Мельского поля, Архангельской субпровинции [11]; 5 – мантийный репер; 6 – осадочно-морской репер

В результате проведенных петрографических, петрогеохимических и изотопных исследований установлено, что процесс карбонатизации кимберлитов района горы Благодать относится к поздней стадии метасоматических преобразований, а источник карбонатов связан с коровым компонентом.

Автор благодарит Л. И. Лукьянову за предоставленный каменный материал, за ценные консультации и всестороннюю поддержку. Искренняя при-

знательность научному руководителю Э. А. Ланда, С. В. Кашину, Э. М. Просолову и К. И. Лохову за полезные обсуждения в процессе работы над статьей.

1. Алмазоносные флюидно-эксплозивные образования Пермского Приуралья // Л.И. Лукьянова, В.Р. Остроумов, А.Я. Рыбальченко, Г.Г. Морозов, О.В. Петров, И.П. Тетерин и др. – М.; СПб.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, ВСЕГЕИ, 2011. – 240 с.

2. Геологический словарь. В трех томах. Изд. третье, перераб. и доп. / гл. ред. О.В. Петров. Т. 2. К–П. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. – 480 с.

3. Голобурдина М.Н., Лукьянова Л.И., Лепехина Е.Н. Щелочно-ультраосновные породы района горы Благодать (западный склон Среднего Урала) // Регион. геология и металлогения. 2014. № 59. – С. 28–41.

4. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 300 с.

5. Зильберман А.М., Чернышова Е.М., Кичигин Ю.Н. Новые проявления щелочно-ультраосновного вулканизма на западном склоне Среднего Урала // Доордовикская история Урала. Вып. 3: Вулканизм. 1980. – С. 30–46.

6. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: ООО «Недра-Бизнес-центр», 2000. – 538 с.

7. Кашкай М.А. Лиственитизация базитов и гипербазитов и классификация лиственитов // Петрографические формации и проблемы петрогенезиса. Международный геологический конгресс. XXII сессия. – М.: Наука, 1964. – С. 100–118.

8. Костровицкий С.И. Минералогия и геохимия кимберлитов Западной Якутии // Автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук – Иркутск, 2009. – 43 с.

9. Ланда Э.А., Голобурдина М.Н. О природе карбонатного материала в породах Благодатского массива (Средний Урал) // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: Материалы XI Всерос. петрограф. совещ. – Екатеринбург. 2010. Т. 2. – С. 9–10.

10. Мальков Б.А. Карбонатитовые кимберлиты – новый тип алмазоносных пород // ДАН СССР. 1975. Т. 221. № 5. – С. 1170–1173.

11. Первов В.А. и др. Кимберлитовые силлы по р. Мела (Зимнебережный алмазоносный район): возраст, состав,

петрогенезис / В.А. Первов, В.А. Ларченко, В.П. Степанов, Г.В. Минченко, Е.С. Богомолов, С.А. Кряжев // Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж: Воронежский госуниверситет, 2005. – С. 558–570.

12. *Покровский Б.Г.* Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. – М.: Наука, 2000. – 228 с.

13. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. – М.: Мир, 1988. – 384 с.

14. Руководство по рентгеновскому исследованию минералов / под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1975. – 399 с.

15. *Belyatsky B.V.* et al. Age and Composition of Carbonatite Kimberlite Dykes in the Prince Charles Mountains, East Antarctica / B.V. Belyatsky, A.V. Antonov, N.V. Rodionov, A.A. Laiba, S.A. Sergeev // 9th Int. Kimberlite Conf., 2008. – P. 1–3.

16. *Hoefs J.* Stable isotope geochemistry. 6th ed. Springer, 2009. – 293 p.

17. *Fernando A.T.P. Laiginhas.* Diamonds from the Ural Mountains: their characteristics and the mineralogy and geochemistry of their inclusions. – Glasgow, 2008. – 241 p.

1. Diamondiferous fluid-explosive formations of the Permian Cis-Urals / L.I. Lukyanova, V.R. Ostroumov, A.Ya. Rybalchenko, G.G. Morozov, O.V. Petrov, I.P. Teterin et al. – М.; SPb: GEOKART: GEOS: VSEGEI, 2011. – 240 p. (In Russ.).

2. Dictionary of Geology. Three volumes. 3rd edition, revised and enlarged / Editor in chief: O.V. Petrov. Vol. 2. – SPb: VSEGEI Press. 2011. – 480 p. (In Russ.).

3. *Goloburdina M.N., Lukyanova L.I., Lepekhina E.N.* Alkali-ultramafic rocks of the Blagodat Mountain region (western side of the Middle Urals) // Regional Geology and Metallogeny. 2014. N 59. – P. 28–41. (In Russ.).

4. *Dawson J.B.* Kimberlites and their xenoliths. Moscow: Mir Publishers, 1983. – 300 p. (In Russ.).

5. *Zilberman A.M., Chernyshova E.M., Kichigin Yu.N.* New alkali-ultramafic eruptive manifestations on western side of the Middle Urals // Preordovician history of the Urals. Issue 3. Volcanism. 1980. – P. 30–46. (In Russ.).

6. *Zinchuk N.N.* Postmagmatic minerals of kimberlite. – М.: ООО «Недра-Business-centre», 2000. – 538 p. (In Russ.).

7. *Kashkai M.A.* Listvenitization of basite and ultrabasite and classification of listvenite // Petrographics formations and problems of petrogenesis. 22nd International Geological Congress. – М: Nauka, 1964. – P. 100–118. (In Russ.).

8. *Kostrovitsky S.I.* Kimberlite mineralogy and geochemistry in Western Yakutia // Abstract of the thesis for the degree of the doctor of geological and mineralogical sciences. – Irkutsk, 2009. – 43 p. (In Russ.).

9. *Landa E.A., Goloburdina M.N.* On nature of carbonate material in Blagodat Massif rocks (Middle Urals) // Magmatism and Metamorphism in the Earth's History: Proceedings of 11th Russian Petrographic Meeting. Yekaterinburg. 2010. Vol. 2. – P. 9–10. (In Russ.).

10. *Malkov B.A.* Carbonatite kimberlite: New type of diamondiferous rocks // Reports of USSR Academy of Sci. 1975. Vol. 221, N 5. – P. 1170 – 1173. (In Russ.).

11. *Pervov V.A.* Kimberlite sills of the Mela River (Zimnerezhny diamondiferous area): age, composition, petrogenesis / V.A. Pervov, V.A. Larchenko, V.P. Stepanov, G.V. Minchenko, E.S. Bogomolov, S.A. Kryazhev // Geology of Diamonds: Present and Future. – Voronezh: Voronezh State University. 2005. – P. 558–570. (In Russ.).

12. *Pokrovsky B.G.* Crustal contamination of mantle magmas from isotopic geochemistry data. – М.: Наука, 2000. – 228 p. (In Russ.).

13. *Taylor S.R., McLennan S.M.* The continental crust: its composition and evolution. Moscow: Mir Publishers, 1988. – 384 p. (In Russ.).

14. Guide to x-ray research of minerals / Edited by V.A. Frank-Kamenezky. – L.: Nedra, 1975. 399 p.

15. *Belyatsky B.V.* Age and Composition of Carbonatite Kimberlite Dykes in the Prince Charles Mountains, East Antarctica / B.V. Belyatsky, A.V. Antonov, N.V. Rodionov, A.A. Laiba, S.A. Sergeev // 9th Int. Kimberlite Conf., 2008. – P. 1–3.

16. *Hoefs J.* Stable isotope geochemistry. 6th edition. Springer, 2009. – 293 p.

17. *Fernando A.T.P. Laiginhas.* Diamonds from the Ural Mountains: their characteristics and the mineralogy and geochemistry of their inclusions. – Glasgow, 2008. – 241 p.

Голобурдина Марина Николаевна – инж. I кат., Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <Marina_Goloburdina@vsegei.ru>

Goloburdina Marina Nikolaevna – Engineer, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <Marina_Goloburdina@vsegei.ru>