

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ГЕОХИМИИ КАРБОНАТИТОВ ИЛЬМЕНО-ВИШНЕВОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА (Ю.УРАЛ)

И.Л. Недосекова, С.В. Прибавкин, Е.В. Пушкарев

Карбонатиты Ильмено-Вишневогорского комплекса известны с 50х годов XX века и являются представителями карбонатит-нефелин-сиенитовой формации [Бородин, 1966; Левин, Роненсон, 1978; Гинзбург, Самойлов, 1983], позднее названной формацией карбонатитов «линейно-трещинных зон» [Багдасаров, 1992]. Геохимические исследования карбонатитов и щелочных пород Ильмено-Вишневогорского комплекса опубликованы в работах Еськовой, Жабина, Мухитдинова [1964], Еськовой [1976], Кононовой, Донцовой [1979], Самойлова, Роненсона [1987], Золоева, Левина, Рапопорта [1995], Левина, Роненсона, Самкова [1997], Недосековой [1989, 2004], Золоева, Левина, Мормиля и др. [2004]. Петро- и геохимическим особенностям карбонатитов «линейно – трещинного» типа в сопоставлении с карбонатитами ультраосновной щелочной формации посвящены работы Гинзбурга, Самойлова [1983], Самойлова [1984], Багдасарова [1990].

Наиболее детальные геохимические исследования в Ильмено-Вишневогорском комплексе проведены для карбонатитов и щелочных пород «подинтрузивного субкомплекса» (залегающих в корневых частях миаскитовых массивов) и пород « интрузивного субкомплекса» (залегающих в эндоконтактах Вишневогорского миаскитового массива), которые представляют собой соответственно доагматические (предшествующие появлению выплавок миаскитовой магмы) карбонатиты и постагматические (являющиеся дифференциатами миаскитовой магмы) фации пород [Левин, 1997]. В мень-

шей степени изучены карбонатиты «надинтрузивного субкомплекса» (залегающие в кровле миаскитовых интрузий – в метаморфизованных массивах гипербазитов и в плагиогнейсах), которые были открыты значительно позднее, в 80х годах, и представляют собой среднетемпературные фации карбонатитов, ранее не известные в Ильмено-Вишневогорском щелочном комплексе и считающиеся не характерными для этого формационного типа карбонатитов [Недосекова, 2004].

Нами получены геохимические данные методом ICP-MS для пород «интрузивного субкомплекса» – миаскитов и карбонатитов (Вишневогорский миаскитовый массив, Зона 147) и для пород «надинтрузивного субкомплекса» – карбонатитов, карбонатно-силикатных метасоматитов и гипербазитов Буддымского гипербазитового массива.

Карбонатиты Зоны 147 залегают в северном и северо-западном эндоконтакте Вишневогорской миаскитовой интрузии. Общая мощность зоны карбонатитов составляет 10-30 м, а протяженность 4 км. Карбонатиты образуют несколько пластообразных тел мощностью в несколько метров и содержат перемещенные включения миаскитов, а в примыкающей к фенитам части – перемещенные ксенолиты фенитов. Ранние карбонатиты (Карбонатиты I) представлены массивными зернистыми и брекчиевидными разновидностями кальцитового состава, содержащими крупные и мелкие кристаллы и зерна полевых шпатов, нефелина, лепидомелана и аксессуарные пироксиды, циркон, апатит,

ильменит, магнетит, пирротин, пирит. В Карбонатитах I (и рядом с ними в миаскитах) находятся гнёзда и линзы более позднего крупнозернистого кальцита с обильным зеленым апатитом (Карбонатиты II).

Карбонатиты в Булдымском массиве образуют протяженные зональные тела в системе разломов субширотного простирания. Центральные части тел сложены доломит-кальцитовыми породами, к периферии постепенно сменяющимися тетраферрифлогопит-доломит-кальцитовыми и затем (доломит-кальцит) – флогопит-рихтеритовыми метасоматитами. Мощность зон карбонатитов достигает 10 метров, суммарная мощность сопровождающих их карбонат-флогопит-рихтеритовых метасоматитов в 2-3 раза больше. Кроме того, встречаются жильные тела пегматоидных доломит-кальцитовых карбонатитов мощностью до нескольких метров, содержащих крупные кристаллы рихтерита и тетраферрифлогопита, часто раздробленные, перемещенные и залеченные карбонатным материалом. Доломит-кальцитовые карбонатиты (Карбонатиты III) представляют собой неравнозернистые массивные породы с тетраферрифлогопитом, рихтеритом и магнетитом, распределенными в виде пятен, цепочек, полос и скоплений. Акцессорные минералы доломит-кальцитовых карбонатитов – пироклор, циркон, магнетит, ильменит, пирротин, пирит, апатит. Поздние доломитовые карбонатиты с флогопитом (или хлоритом) и винчитом (Карбонатиты IV) образуют менее мощные тела с аналогичной зональностью. В отличие от доломит-кальцитовых карбонатитов, они содержат редкоземельную акцессорную минерализацию (монацит, эшинит, редкоземельный пироклор), а также апатит, магнетит, ильменит, циркон, колумбит. Наиболее поздние мелкие прожилки доломита в гипербазитах содержат хлорит, серпентин, монацит, реже стронцианит.

Химические составы изученных Карбонатитов I, II, III соответствуют кальциокарбонатитам, составы доломитовых Карбонатитов IV соответствуют магнезиокарбонатитам (по [Woolley, Kempe, 1989]).

Содержания редких и редкоземельных элементов в Карбонатитах I, II («интрузивный субкомплекс», Зона 147) и в Карбонатитах III, IV («надинтрузивный субкомплекс», Булдымский гипербазитовый массив) приведены в табл. 1, 2 и представлены графически на рис. 1, 2. Все анализируемые образцы карбонатитов имеют

одновременную обогащенность редкими элементами – Sr, Ba, TR и значительные вариации Nb, Zr, Ti, V, Th, сходные со среднемировыми составами кальцио- и магнезиокарбонатитов (рис. 1, 2) [Woolley, Kempe, 1989]. При этом доломитовые карбонатиты (IV) относительно кальцитовых (I, II) и доломит-кальцитовых (III) характеризуются более высокими содержаниям лёгких и средних РЗЭ и Th, в меньшей степени Y, и обеднены Sr и Ba.

Кальциокарбонатиты Ильмено-Вишневогорского комплекса содержат повышенные концентрации Sr (11670 г/т – Карбонатиты I, 21980 г/т – Карбонатит II, 12210 г/т – Карбонатиты III) относительно карбонатитов щелочно-ультраосновной формации (УЩК), в которых ранние, наиболее обогащенные стронцием высокотемпературные карбонатиты содержат в среднем лишь 5800 г/т Sr. Отношение Sr/Ba в Карбонатитах I, II, III также повышено (17-23, а в апатитсодержащих Карбонатитах II – 78), что характерно для высокотемпературных глубинных фаций карбонатитов в отличие от вулканических карбонатитов, где Sr/Ba отношение равно 1.2-2.6 [Самойлов, 1983]. При этом следует отметить, что повышенные содержания Sr и Ba в карбонатитах отмечаются для магматических разностей относительно однофациальных гидротермально-метасоматических карбонатитов с коэффициентом концентрации $K = 1.5$ [Багдасаров, 1994]. Поздние доломитовые карбонатиты IV Ильмено-Вишневогорского комплекса заметно беднее стронцием (3790-6610 г/т Sr) и барием (220-300 г/т Ba) относительно ранних кальциокарбонатитов I, II, III. Вероятно, это связано с тем, что стронций накапливался в ранние стадии карбонатитообразования, в отличие от щелочно-ультраосновных комплексов, где максимальные концентрации стронция и бария в виде самостоятельных фаз характерны для поздних карбонатитов.

По содержаниям ниобия и тантала (3.5-930 г/т Nb и 0.01-3.64 г/т Ta) карбонатиты Ильмено-Вишневогорского комплекса беднее по сравнению с карбонатитами УЩК (в среднем 800 г/т и до 4% Nb и в среднем 47 г/т и до 0,2% Ta). При этом характерно высокое отношение Nb/Ta и значительные его вариации (Nb/Ta = 66-1310) с максимальными значениями в пироклорсодержащих разностях, что обычно связывают с повышенной степенью дифференцированности карбонатитов метасоматического генезиса [Багдасаров, 1994]. При этом в ранних Карбо-

Таблица 1

Состав редких элементов в породах Ильмено-Вишневогорского комплекса, г/т

№г/п № обр.	1 пс-323	2 пс-329	3 пс-331	4 44 - 3332	5 15-22	6 309	7 3-21	8 К-18	9 43-915	10 Т-16	11 3311	12 1-54	13 10-21
Sr	1901.92	11518.23	21981.76	283.73	43.98	504.96	2313.33	189.53	10279.15	9546.90	12215.62	6611.26	3796.21
Ba	1592.33	663.20	281.84	46.28	80.90	67.52	98.43	1276.83	223.69	484.03	536.28	233.23	302.17
Sc	1.13	2.71	2.80	4.40	6.25	28.65	15.71	5.01	2.30	5.79	2.56	1.15	1.88
V	159.21	33.67	133.87	42.38	79.53	263.42	197.84	119.47	14.68	67.07	2.92	7.67	51.25
Cr	161.86	77.09	38.05	868.83	1178.10		606.56		107.05	138.01	13.74	23.43	34.97
Co	0.10	4.84	10.14	75.53	41.77	59.21	35.61	44.16	4.75	6.68	22.99	16.31	6.62
Ni	0.56	2.67	2.69	165.57	219.82	2965.95	135.50	1849.76	9.96	12.68	68.90	12.51	30.29
Cu	14.11	6.58	8.46	0.32	17.84	14.99	8.97	0.91	23.70	23.90	30.06	19.66	23.68
Zn	22.09	98.38	84.56	29.61	62.35	1730.16	236.26	703.47	48.76	88.02	170.68	46.52	8.36
Nb	68.62	343.02	98.13	1.55	12.07	2060.89	27.31	4517.34	19.66	930.31	3.56	87.86	14.84
Ta	3.92	3.64	0.07	0.04	0.63	1.43	0.23	110.91	0.02	1.24	0.01	0.08	0.14
Zr	335.48	42.00	6.79	1.60	5.06	42.69	32.06	15.10	1.75	42.34	0.11	23.78	36.55
Hf	4.90	0.41	0.22	0.03	0.12	1.54	0.54	0.41	0.13	0.51	0.16	0.43	0.46
Mo	12.69	25.83	1.55	0.19	0.07	0.24	0.63	0.09	0.57	0.62	0.46	1.22	0.00
Tl	0.44	0.36	0.20	0.74	0.93	0.75	0.71	1.73	0.71	0.57	1.66	0.56	1.07
Pb	2.01	19.46	12.44	1.38	1.71	0.35	4.36	14.40	14.05	22.87	31.54	23.27	58.56
Th	1.79	9.07	13.98	0.30	7.07	38.60	1.13	91.89	3.30	22.30	1.00	680.63	1418.28
Sr/Ba	1.00	17.00	78.00	6.00	0.50	7.00	23.00	0.10	46.00	20.00	23.00	28.00	12.00
Nb/Ta	17.00	94.00	1310.00	36.00	19.00	1444.00	118.00	228.00	104.00	748.00	582.00	1135.00	104.00
Zr/Hf	68	101	31	57	40.00	28	60	36	46	82	0.7	55	80

Примечание. 1-3 – Вишневогорский миеаситовый массив: 1 – миеаситы, 2-3 – карбонаты "интрузивного субкомплекса" (Зона 147); 4 – брекчиевидные карбонаты с пирохлором (Карбонат I), 5 – к/з биотит-кальцитовый карбонат с апатитом (Карбонат II); 4-13 – Бульдымский гипербазитовый массив: 4, 5 – слабо измененные гарцбургиты, 6-13 – карбонаты и щелочно-силикатные метасоматиты "надинтрузивного субкомплекса"; 6, 7 – доломит-кальцит-флогопит-рихтеритовые метасоматиты, 8 – доломит-флогопитовый метасоматит с гатчеттолитом, 9 – тетраферрифлогит-доломит-кальцитовый метасоматит, 10-11 – доломит-кальцитовые карбонаты (Карбонаты III); 10 – с пирохлором, 11 – пегматитный карбонат с рихтеритом и тетраферрифлогитом; 12-13 – доломитовые карбонаты (Карбонаты IV); 12 – с эшинитом, 13 – с монацитом. Анализы выполнены методом ICP-MS на приборе Элемент-2, г. Новоуральск, 2004 г.

Таблица 2

Состав редких земель в породах Ильмено-Вишневогорского комплекса, г/т

№п/п № обр.	1 пс-323	2 пс-329	3 пс-331	4 44 - 3332	5 15 -22	6 309	7 3-21	8 К-18	9 43-915	10 Т-16	11 3311	12 1-54	13 10-21
La	68,98	495,09	926,35	13,55	31,95	37,88	27,68	194,29	598,44	577,43	424,10	2284,98	18958,74
Ce	107,40	720,37	1512,81	13,96	48,72	69,51	88,21	332,67	1055,78	1022,21	1375,56	4092,31	25500,32
Pr	10,12	48,30	121,32	0,78	3,98	6,28	7,95	28,19	59,42	58,07	59,36	179,71	913,42
Nd	29,57	146,42	385,12	1,83	11,18	18,94	24,46	81,87	202,11	180,13	221,61	542,64	2273,26
Sm	3,78	24,13	58,31	0,28	1,48	2,38	2,98	9,38	41,14	38,01	51,77	70,08	167,57
Eu	1,03	6,86	15,79	0,08	0,36	0,58	0,75	1,78	10,59	9,74	13,29	34,46	28,81
Gd	2,51	18,63	42,68	0,22	1,10	1,51	2,24	5,92	31,64	28,20	40,76	65,14	87,15
Tb	0,33	2,76	6,00	0,04	0,18	0,23	0,31	0,71	4,69	4,31	5,92	10,08	11,09
Dy	1,72	14,96	31,26	0,22	1,03	1,23	1,55	3,29	24,97	22,88	34,28	60,50	45,76
Ho	0,31	3,06	5,82	0,05	0,22	0,26	0,33	0,59	5,50	5,01	6,92	10,74	6,57
Er	0,86	8,65	15,76	0,16	0,72	0,71	0,91	1,32	16,10	14,54	20,20	22,91	12,31
Tm	0,12	1,29	2,10	0,02	0,10	0,12	0,14	0,16	2,44	2,20	3,38	3,00	1,31
Yb	0,78	8,77	13,74	0,14	0,61	0,82	1,02	0,85	17,02	15,40	23,54	16,48	6,23
Lu	0,12	1,50	2,21	0,02	0,10	0,16	0,16	0,11	2,63	2,37	4,12	2,04	0,77
Y	8,17	39,29	72,71	1,69	6,93	6,84	8,87	92,58	68,54	62,11	87,89	86,68	73,98
TR+Y	235,81	1540,08	3211,99	32,77	108,67	147,45	167,59	671,20	2092,16	2042,62	2372,70	7487,65	48087,27
TR _{Ce} /TR _Y	14,8	14,5	15,7	11,9	8,9	11,4	9,7	6,1	11,3	11,9	9,4	25,9	195
La/Yb	88,13	56,43	67,40	99,08	52,13	46,29	27,19	228,37	35,16	37,49	18,02	138,65	3045,50
δEu	0,96	0,95	0,93	0,89	0,83	0,87	0,85	0,68	0,86	0,87	0,85	1,53	0,65

Примечание. 1-3 – Вишневогорский миеаскитовый массив; 1 – миеаскиты, 2-3 – карбонаты "интрузивного субкомплекса" (Зона 147); 4 – брекчиевидные карбонаты с пирохлором (Карбонат I), 5 – к/з биогит-кальцитовый карбонат с апатитом (Карбонат II); 4-13 – Бульдымский гипербазитовый массив; 4, 5 – слабо измененные гардбургиты, 6-13 – карбонаты и щелочно - силикатные метасоматы "надинтрузивного субкомплекса"; 6-9 – карбонатно-силикатные метасоматы; 6, 7 – доломит-кальцит-флогопит-рихтеритовые, 8 – доломит-флогопитовые с гачеттолитом, 9 – тетраферрифлогит-доломит-кальцитовые; 10-11 – доломит-кальцитовые карбонаты (Карбонаты III); 10 – с пирохлором, 11 – пегматонный карбонат с рихтеритом и тетраферрифлогитом; 12-13 – доломитовые карбонаты (Карбонаты IV); 12 – с эшнитом, 13 – с монацитом. TR_{Ce} = La + Ce + ... + Eu; TR_Y = Gd + ... + Yb + Y. δEu = K Eu / 0,5(KSm + KGd), где K – коэффициент концентрации редкоземельного элемента относительно его содержания в хондрите. Анализы выполнены методом ICP-MS на приборе Элемент-2, г. Новоуральск, 2004 г.

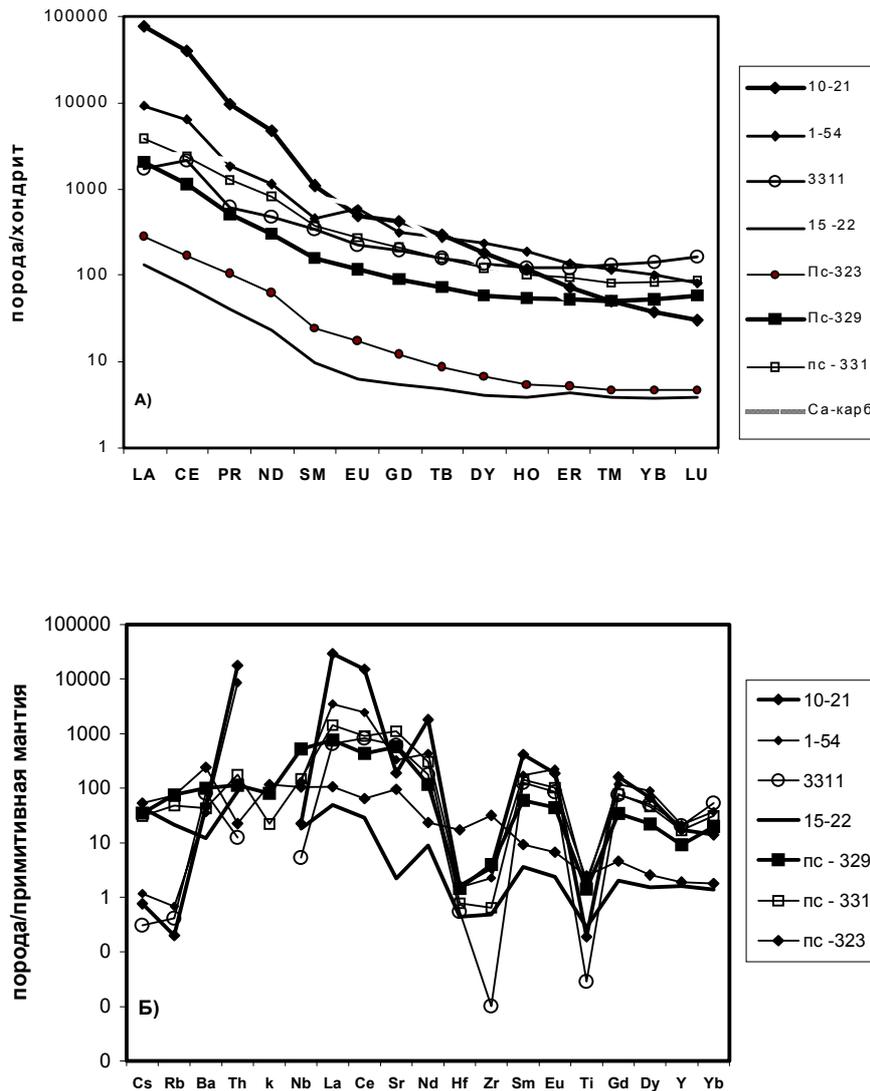


Рис. 1. Спайдер-диаграммы, показывающие распределение редкоземельных (А) и редких (Б) элементов в карбонатах, миекитах и гипербазитах Ильмено-Вишневогорского комплекса.

Концентрации редких элементов нормализованы по примитивной мантии, концентрации РЗЭ нормализованы по хондриту [Evensen et al., 1978]. Номера проб соответствуют приведённым в таблицах 1, 2. Серой линией показан состав среднего кальциокарбоната (А) (по [Wooley, Kempe, 1989]).

температурных фаций щелочно-ультраосновных комплексов. Следует отметить закономерное увеличение Zr/Hf отношения от 23 в ранних Карбонатах I до 80-82 в поздних карбонатах

натитах I (Зона 147), по нашим данным, Nb/Ta = 66 (по данным Левина, Nb/Ta = 43 для карбонатов Зоны 147 [Левин, 1997]), что близко отношению Nb/Ta в магматических карбонатах (в среднем 50,7 [Багдасаров, 1994]). В более поздних карбонатах II и в карбонатах Булдымского массива (III, IV) – Nb/Ta отношение значительно выше (582-1310). Увеличение Nb/Ta отношение от ранних ко всё более поздним членам карбонатитовых серий отмечено и в щелочно-ультраосновных комплексах [Кухаренко, 1964].

Содержания циркония (0.1-42.30 г/т) и гафния (0.1-0.5 г/т) также несколько ниже средних для кальцио- и магнезиокарбоната соответственно. Отношение Zr/Hf варьирует от 23 до 82, что близко карбонатам высоко-

III, IV, что соответствует установленным для карбонатитов закономерностям накопления гафния в ранних членах карбонатитовых серий [Кухаренко, 1964]. В целом необходимо отметить пониженное отношение Zr/Hf в карбонатах Ильмено-Вишневогорского комплекса относительно карбонатитов УЩК, в которых Zr/Hf достигает 300-400 в низкотемпературных разновидностях.

Для карбонатитов Ильмено-Вишневогорского комплекса характерен несколько иной спектр редких земель по сравнению со среднемировыми кальцио- и магнезиокарбонатами (см. рис. 1, 2). Как и в комплексах УЩК, для всех разновидностей кальциокарбонатитов Ильмено-Вишневогорского комплекса характерно преобладание легких РЗЭ относительно тяжелых и Y.

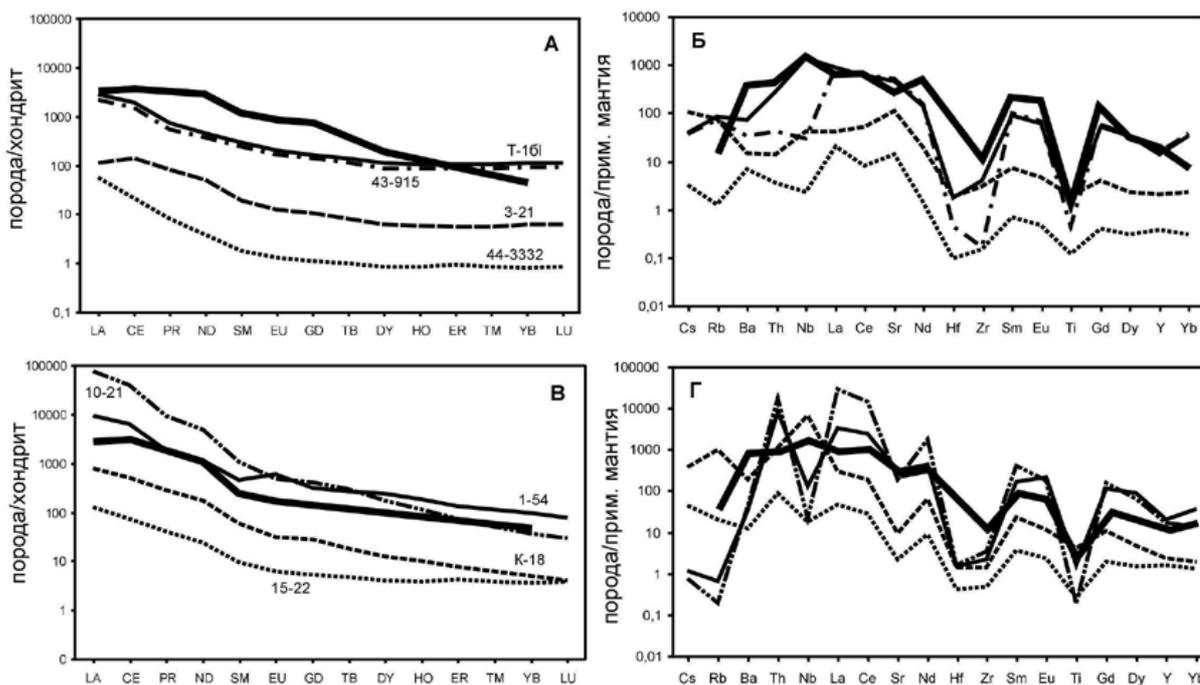


Рис. 2. Спайдер-диаграммы для доломит-кальцитовых (А, Б) и доломитовых (В, Г) карбонатов и сопровождающих их карбонатно-силикатных метасоматитов Булдымского гипербазитового массива.

Сплошной жирной линией показаны составы среднего кальциокарбоната (А, Б) и среднего магнезиокарбоната (В, Г) [Wooley, Kempe, 1989]. Содержания РЗЭ нормированы по составу хондрита [Evensen et al., 1978]. Номера проб соответствуют приведённым в таблицах 1, 2.

Однако содержания «средних и легких» лантаноидов в них несколько ниже, а «тяжёлых» – выше, чем в среднемировых составах кальциокарбонатов (рис. 1). Доломитовые карбонаты Ильмено-Вишневогорского комплекса, напротив, обогащены «средними и легкими» лантаноидами и обеднены «тяжелыми» относительно среднемировых магнезиокарбонатов (рис. 2).

Суммарное содержание редких земель и иттрия для ранних кальциокарбонатов Ильмено-Вишневогорского комплекса (Карбонаты I) ($\Sigma TR + Y = 1540$) соответствует содержаниям в высокотемпературных карбонатах УЩК. В более поздних кальциокарбонатах $\Sigma TR + Y$ возрастает до 3210 г/т (Карбонаты II) и затем несколько снижается до 2370 г/т (Карбонаты III). Максимальные и сильно варьирующие содержания $TR + Y$ (7480 г/т и 48070 г/т), так же как и в карбонатных сериях УЩК, устанавливаются в поздних доломитовых карбонатах (Карбонаты IV) и связаны с при-

сутствием самостоятельных редкоземельных фаз – монацита, эшинита, ортита. Таким образом, в Ильмено-Вишневогорском комплексе, так же как и в комплексах формации УЩК, устанавливается волнообразное изменение $\Sigma TR + Y$ с двумя максимумами концентрирования – в условиях высокотемпературных Карбонатов II (в альбит-кальцитовой фации УЩК) и в условиях низкотемпературных карбонатов (IV) (хлорит-серицит-анкеритовой фации УЩК).

Синхронно с увеличением $\Sigma TR + Y$ от ранних карбонатов к поздним увеличивается доля лёгких лантаноидов ($TR_{Ce}/TR_Y = 9.4-17.2$ для Карбонатов I, II, III; $TR_{Ce}/TR_Y = 26-195$ для Карбонатов IV). Резкое увеличение лёгких лантаноидов относительно тяжёлых и Y с одновременным увеличением $\Sigma TR + Y$ установлено и в многостадийных карбонатных комплексах УЩК в карбонатах IV стадии (хлорит-серицит-анкеритовая фация), формирующихся при $T < 300^\circ C$, что связано с низкой ра-

створимостью лёгких и тяжёлых РЗЭ при $T > 300^\circ\text{C}$ и резким увеличением растворимости тяжёлых лантаноидов при $T < 300^\circ\text{C}$ [Балашов, 1968, Самойлов, 1980].

Для карбонатитов Ильмено-Вишневогорского комплекса характерна обогащённость тяжёлыми редкоземельными элементами (см. рис. 1, 2) и низким La/Yb отношением (La/Yb = 56 – Карбонатиты I; La/Yb = 67 – Карбонатиты II; La/Yb = 37-18 – Карбонатиты III), значительно отличающимся от таковых для карбонатитов формации УЩК (La/Yb = 75-256). Лишь вулканические и субвулканические карбонатитовые комплексы Восточно-Африканского рифта имеют такие же низкие La/Yb – отношения (La/Yb = 28-41) [Самойлов, 1980].

Значения δEu (характеризующие величину отклонения коэффициента концентрации Eu от $(\text{Sm} + \text{Gd})/2$), как известно, связывают со степенью дифференцированности пород щелочных комплексов [Самойлов, 1980]. Кроме того, установлено, что уменьшение δEu от ранних фаз к поздним является характерной особенностью магматической кристаллизации с участием полевых шпатов, нефелина, лейцита [Балашов, 1976], а также для дифференцированных карбонатитовых серий [Самойлов, 1980].

В миаскитах Ильмено-Вишневогорского комплекса значение δEu весьма близко к 1 ($\delta\text{Eu} = 0.96$). Практически такие же значения устанавливаются в ранних Карбонатитах I, II (0.95- 0.93), что свидетельствует о возможности фракционирования карбонатитовой жидкости от щелочной магмы. В карбонатитах Ильмено-Вишневогорского комплекса δEu закономерно уменьшается от Карбонатитов I, II «интрузивного субкомплекса» ($\delta\text{Eu} = 0.95$ – Карбонатиты I, $\delta\text{Eu} = 0.93$ – Карбонатиты II) к карбонатитам III, IV «надинтрузивного субкомплекса» ($\delta\text{Eu} = 0.87$ - 0.85 – Карбонатиты III, $\delta\text{Eu} = 0.6$ – Карбонатиты IV), что, вероятно, обусловлено накоплением Eu в ранних высокотемпературных карбонатитах и обычно отмечается во всех дифференцированных карбонатитовых комплексах [Самойлов, 1980]. Высокие значения $\delta\text{Eu} = 1.53$ в доломитовом эшинитсодержащем карбонатите ставят вопрос о его фациальной принадлежности к ранней, более высокотемпературной (возможно домиаскитовой) стадии процесса в отличие от монацитсодержащего доломитового карбонатита.

Значение δEu в гипербазитах (0.83- 0.89), а также значительные содержания редкоземель-

ных элементов ($\Sigma\text{TR} + \text{Y} = 33$ -108) отражают значительную степень их изменения при процессах щелочно – карбонатного метасоматоза, связанного со становлением Ильмено-Вишневогорского комплекса. При образовании карбонатитов в гипербазитах Булдымского массива наблюдается последовательное обогащение пород метасоматической колонки, связанной как доломитовыми, так и с доломит-кальцитовыми карбонатитами, редкими и редкоземельными элементами (рис. 2), что свидетельствует о преимущественно метасоматическом способе формирования карбонатитов «надинтрузивного комплекса» из более поздних и низкотемпературных дифференциатов карбонатитовых магм.

Выводы

1. При изучении распределения редких и редкоземельных элементов в карбонатитах Ильмено-Вишневогорского комплекса устанавливается сходство общей картины их поведения в изученных породах и в карбонатитах комплекса УЩК. Это сходство проявляется в общих повышенных концентрациях Sr, Ba, Nb, Zr, TR; в волнообразном накоплении $\Sigma\text{TR} + \text{Y}$ и Sr с двумя максимумами концентрирования – в условиях высокотемпературных Карбонатитов II (в альбит-кальцитовой фации УЩК) и в условиях низкотемпературных Карбонатитов IV (хлорит-серицит-анкеритовой фации УЩК); в повышении отношения $\text{TR}_{\text{Ce}}/\text{TR}_{\text{Y}}$ с понижением температуры минералообразования; в соответствии индикаторных отношений (Sr/Ba, Nb/Ta, Zr/Hf) и одинаковых тенденциях их изменения от ранних к поздним членам дифференциатов карбонатитовых серий и, наконец, в закономерном уменьшении δEu от ранних фаз карбонатитов к поздним, иллюстрирующим процесс дифференциации карбонатитов.

2. Ранние карбонатиты «интрузивного субкомплекса» (Карбонатиты I, Зона 147) характеризуются высокими содержаниями Sr и Ba, минимальными содержаниями $\Sigma\text{TR} + \text{Y}$ и минимальными индикаторными отношениями Nb/Ta и Zr/Hf, что характерно для высокотемпературных и магматических разностей карбонатитов. Значения $\delta\text{Eu} = 0.95$ в Карбонатитах I максимальны и близки к миаскитовым, что также подтверждает их принадлежность к ранним высокотемпературным дифференциатам миаскитовых магм.

3. Поздние карбонатиты «интрузивно-го субкомплекса» (Карбонатиты II) имеют максимальные содержания Sr и TR при высоких индикаторных отношениях Nb/Ta и Sr/Ba, TR_{Ce}/TR_{Y} и, кроме того, в них отмечается некоторое снижение δEu , что характерно для более поздних высокотемпературных членов карбонатитовых серий.

4. Ранние доломит-кальцитовые карбонатиты «надинтрузивного субкомплекса» (Карбонатиты III) характеризуются близкими содержаниям Sr и Ba и более высокими содержаниями Nb и $\Sigma TR + Y$ относительно ранних карбонатитов «интрузивного субкомплекса». Отношения Nb/Ta и Zr/Hf в них также повышенные, δEu снижается до 0.85, что иллюстрирует эволюцию карбонатитообразующих расплавов – флюидов при снижении температуры карбонатитообразования.

5. Поздние доломитовые карбонатиты «надинтрузивного субкомплекса» (Карбонатиты IV) имеют максимальные содержания $\Sigma TR + Y$ и Th, концентрируя их в виде самостоятельных минеральных фаз, и более низкие содержания Sr, Ba и Nb при максимальных значениях и значительных вариациях Nb/Ta, Zr/Hf и Sr/Ba, TR_{Ce}/TR_{Y} отношениях, что характерно для поздних низкотемпературных членов карбонатитовых серий. Значение δEu в них достигает минимальных значений ($\delta Eu = 0.65$) в монацит-содержащих карбонатитах IV, что подтверждает их принадлежность к заключительным стадиям карбонатитообразования в Ильмено-Вишневогорском комплексе.

6. Геохимическими особенностями карбонатитов Ильмено-Вишневогорского комплекса являются обогащённость ранних карбонатитов Sr при отсутствии значительных его концентраций в поздних низкотемпературных карбонатитах, несколько пониженные содержания Nb, Ta, Zr и низкое Zr/Hf и La/Yb отношение по сравнению с карбонатитами формации УЩК. Эти особенности, а также высокое δEu ранних карбонатитов, близкое к единице и к значениям δEu в миаскитах, свидетельствуют о несколько иной генетической природе карбонатитов Ильмено-Вишневогорского комплекса, вероятно, связанной с процессами дифференциации щелочных магм.

Работа выполнена по целевой программе междисциплинарных проектов УрО РАН, СО РАН и ДВО РАН 2004 года и гранта РФФИ (05-05-64591-а).

Багдасаров Ю.А. О полиформационности карбонатитов и объеме термина «карбонатит» // Записки ВМО, 1992. N 2. С. 110-116.

Багдасаров Ю.А. О главных петро- и геохимических особенностях карбонатитов линейного типа и условиях их образования // Геохимия. 1990. № 8. С. 1108-1119.

Багдасаров Ю.А. Редкометалльный рудный потенциал магматических и гидротермально-метасоматических карбонатитов // Геология рудных месторождений, 1994. Т. 36. № 4. С. 326-335.

Балашов Ю.А., Пожарицкая Л.К. Факторы, регулирующие поведение редкоземельных элементов в карбонатитовом процессе // Геохимия. 1968. № 3. С. 285-303.

Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.

Бородин Л.С. Карбонатитовые месторождения редких элементов // Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М., 1966. Т. III. С. 215-256.

Гинзбург А.И., Самойлов В.С. К проблеме карбонатитов // Записки ВМО, 1983. Вып. 2. Ч. 112. С. 164-176.

Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М.: Наука, 1964. 301 с.

Еськова Е.М. Щелочные редкометалльные метасоматиты Урала. М.: Наука, 1976. 292 с.

Золоев К.К., Левин В.Я., Раппопорт М.С. Металлогения редких и редкоземельных элементов Урала // Изв. ВУЗов. Горный Журнал. 1995. № 10-12. С. 117-129.

Золоев К.К., Левин В.Я., Мормиль С.И. и др. Минерогения и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. 336 с.

Кононова В.А., Донцова Е.И., Кузнецова Л.Д. Изотопный состав кислорода и стронция Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса и вопросы генезиса миаскитов // Геохимия. 1979. № 12. С. 1784-1795.

Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г. и др. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М.: Недра, 1965. 772 с.

Левин В.Я., Роненсон Б.М., Левина И.А. Карбонатиты щелочной провинции Ильменских-Вишневых гор на Урале // Докл. АН СССР, 1978. Т. 240. № 4. С. 930-933.

Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С. и др. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 274 с.

Недосекова И.Л. Геохимия и минералогия карбонатитов Булдымского массива, Ю.Урал. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. С.Пб.: ЛГУ, 1989. 22 с.

Недосекова И.Л. Карбонатиты Булдымского массива (минералогия, геохимия и условия образования), Ильмено-Вишневогорский комплекс, Ю. Урал // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2004. С. 162-178.

Самойлов В.С., Смирнова Е.А. Поведение редкоземельных элементов в процессе карбонатитообразования и некоторые аспекты генезиса карбонатитов // Геохимия. 1980. № 12. С. 1844-1858.

Самойлов В.С. Геохимия карбонатитов. М.: Наука, 1984. 190 с.

Самойлов В.С., Роненсон Б.М. Геохимические особенности щелочного палингенеза // Геохимия. 1987. № 11. С. 1537-1546.

Wooley A.R., Kempe D.R.C. Carbonatite: nomenclature, average chemical compositions, and element distributions // In Bell K. (ed) Carbonatites: genesis and evolution. Unwin Hyman, London. 1989. P. 1-14.

Evensen N.M., Hamilton P.I., O'Nions R.K. Rare earth abundances in chondrites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1978. V. 42. P. 1199-1212.