

## **Новые данные о карбонатитах и ассоциирующих породах Кокшаровского щелочно-ультраосновного массива**

Октябрьский Р.А.<sup>1</sup>, Вржосек А.А.<sup>1</sup>, Ленников А.М.<sup>1</sup>, Москаленко Е.Ю.<sup>1</sup>,  
Залищак Б.Л.<sup>1</sup>, Рассказов С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Дальневосточный геологический институт ДВГИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*

<sup>2</sup> *Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия*

Приведены новые сравнительные данные по геологии, геохимии и изотопному составу карбонатитов и родственных магматических пород Кокшаровского щелочно-ультраосновного массива среднеюрского возраста. Обосновывается магматический генезис кокшаровских карбонатитов и обсуждаются вопросы формирования сопутствующих образований.

Алмазы обнаруживают резкое обогащение Ba, Sr, Pb и Eu аномалии свойственные эцлогитам для разновидностей с низким уровнем REE ~0.1 относительно C1, обогащенные разности ~10 C1 не имеют этих тенденций.

### **Введение**

Особенности состава карбонатитов длительное время затрудняли их типизацию и отнесение к магматическим образованиям. Резкое повышение интереса к изучению карбонатитовых комплексов в начале 50<sup>х</sup> годов прошлого столетия было вызвано обнаружением в них крупных месторождений редкометально-фосфатных видов сырья и других полезных ископаемых. В результате проведенных за истекший период исследований во многих случаях была доказана эндогенная природа карбонатитов и формирование их на заключительных этапах кристаллизации дифференцированных интрузий щелочно-ультраосновного состава. В настоящее время карбонатитовые проявления установлены во многих регионах, где они связаны с комплексами щелочно-ультраосновного магматизма и выделены в самостоятельные петрографические провинции [3].

В структурном плане массивы щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами обычно приурочены к окраинам древних платформ, активизированных на поздних этапах развития. Процессы активизации часто взаимосвязаны с рифтогенезом, поэтому щелочно-ультраосновные массивы иногда залегают среди более молодых складчатых образований в рифтогенных структурах, обрамляющих платформы, а их расположение контролируют зоны сквозьструктурных глубинных разломов [15]. Аналогичную структурную позицию занимает комплекс щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами и на территории юга Дальнего Востока, где они выделены как Сихотэ-Алинская провинция щелочного

магматизма. Интрузивы этого комплекса получили распространение в пределах Сихотэ-Алинской складчатой системы, обрамляющей с севера и востока Ханкайский кристаллический массив. Они завершили этап юрского щелочно-ультраосновного магматизма Сихотэ-Алиня с разнообразными проявлениями меймечит-пикритового состава, аналогичными развитыми в Маймеча-Котуйской провинции [24].

В пределах Сихотэ-Алиня установлен ряд щелочно-ультраосновных массивов, дифференцированных от дунитов до габбро, большинство из которых имеет концентрически-зональное строение. Они характеризуются закономерным изменением состава интрузий, также как и комагматических вулканических образований, в сторону обогащения их щелочами и развития лейкократовых щелочных фаз по простиранию складчатой структуры с севера на юг по мере выклинивания мезозойского рифтогенного прогиба. Поэтому только в самом южном Кокшаровском массиве получили широкое развитие породы сиенитового ряда и в нем же, единственном из массивов Сихотэ-Алинской провинции, установлены карбонатиты. Проведенное нами дополнительное изучение этого массива и полученные результаты анализов изотопного и редкоземельного состава карбонатитов и ассоциирующих пород позволяет рассмотреть их геохимические особенности и уточнить вопросы генезиса.

### **Геология и петрография**

Кокшаровский щелочно-ультраосновной массив располагается на правом и левобережье р. Уссури вдоль юго-восточной окраины пос. Кокшаровка Приморского края. Он представляет собой удлиненное тело протяженностью около 17 км при ширине выходов от 0,8 до 2 км, вытянутое в северо-восточном направлении согласно простиранию складчатых структур. Примерно треть его площади перекрыта аллювиальными отложениями р. Уссури. Такая же часть массива размещается на правобережье р. Уссури между ее притоками – ключами Масленникова и Калугина, вплоть до водораздела последнего с р. Кокшаровка, где массив выклинивается. На юго-западе он прослеживается вдоль ключа Старикова до его верховий и далее, согласно магнитометрии, за пределы вскрытых выходов примерно на 5 км. Район локализации Кокшаровского массива относится к Самаркиному блоку Центральной структурно-формационной зоны Сихотэ-Алинской складчатой системы. Массив прорывает с образованием контактовых роговиков кремнисто-терригенные и вулканогенные отложения триасового и юрского возраста и относится к позднеюрскому интрузивному комплексу. Максимальные возрастные оценки, полученные К-Аг методом для дайковых нефелиновых сиенитов и биотита из пироксенита, составляют 160-172 млн. лет, что соответствует среднеюрскому времени. Такой же возраст (165 млн. лет), имеют и карбонатиты Кокшаровского массива. Абсолютный возраст пироксенитов из расположенного севернее Ариадненского массива,

относящегося к этому же комплексу, составляет по керсутиту и биотиту 159 и 157 млн. лет [16, 24].

В строении Кокшаровского массива участвуют породы трех, как минимум, интрузивных фаз: пироксениты, разнообразные сиениты и карбонатиты, однако четко выраженной концентрической зональности, в отличие от других массивов, в нем не установлено. Отмечается лишь последовательное изменение состава пироксенитов от ядра к периферии массива. Выяснить другие детали строения этого массива весьма затруднительно из-за развития на нем коры выветривания в виде дресвяников мощностью до 30-40 м и полного отсутствия обнажений коренных обнажений. Поэтому изучение массива, включая состав слагающих его пород, осуществлялось эпизодически при производстве поисково-разведочных работ на вермикулит, апатит и титаномагнетитовые руды, сопровождающие этот массив [4, 8, 9, 10].

Кокшаровский массив примерно на 90 % сложен титанавгитовыми пироксенитами, среди которых в зависимости от минерального состава выделяется несколько разновидностей. В центральной части массива преобладают средне- и крупнозернистые до пегматоидных керсутит- и биотитсодержащие титанавгитовые пироксениты. Керсутит и биотит распределены в них крайне неравномерно и хотя их содержание обычно не превышает 10-15 %, местами встречаются мономинеральные скопления. В этих же пироксенитах содержание титаномагнетита, в среднем, составляет 10-15 %, а апатита – 4-5 %, реже – до 10-12 %. Среди них отмечаются рудные пироксениты, в которых количество титаномагнетита (иногда не распавшегося с содержанием  $TiO_2$  до 19 мас. %) достигает 20-30 %. Одновременно в них возрастает и количество сфена (до 10-20 %). Продукты распада твердого раствора в титаномагнетите представлены плеонастом, ульвошпинелью и ильменитом с содержанием  $MgO$  до 7,6 мас. % [9].

Основная масса мелко- среднезернистых пироксенитов краевых фаций массива – т.н. авезакитов [1, 7], обогащена амфиболом, сфеном и сложена зональным титанистым авгитом (иногда с оторочками эгирин-авгита и эгирина), который местами замещается также керсутитом, а по последнему, в свою очередь, развиваются гастингсит и, затем, арфведсонит с одновременным появлением в породах интерстициальных калишпата, альбита и нефелина. Количество амфибола в типичных авезакитах превышает содержание пироксена и достигает 50-70 %. Площадь, занятая авезакитами, составляет не менее 30 % общей площади массива. Другие разновидности пироксенитов, такие как их анхимономинеральные разности – якупирангиты, а также перовскитовые пироксениты встречаются редко и визуально плохо отличаются от вышеописанных пироксенитов.

Собственно щелочные породы в Кокшаровском массиве представлены многочисленными маломощными жилами (от первых сантиметров до 0,5-0,7 м) и дайками (до 20-25 метров), приуроченными, в основном, к его юго-

западной части [4], хотя нередко встречаются и на остальной площади массива. Сложены они мелкозернистыми эгириновыми и среднезернистыми гастингсит-эгирин-авгитовыми ийолит-мельтейгитами и ийолитами, среднекрупнозернистыми фойяитами, миаскитами, люявритами, люявритовыми порфирами и их разновидностями – рисчорритами, мариуполитами, тингуаитами, а также канкринитовыми, цеолитовыми и либенеритовыми разновидностями этих пород, эгирин-авгит-гастингситовыми нефелиновыми и щелочными сиенитами, нефелиновыми сиенит-пегматитами и сиенит-аплитами. В совокупности они занимают около 10 % площади массива.

Карбонатиты пользуются весьма ограниченным распространением в пределах Кокшаровского массива и установлены только на водораздельной гривке между ключами Калугина и Масленникова, где они слагают выход неправильной линзовидной формы размером не более 0,5-0,7 км в поперечнике в поле развития авезакитов. Так как это тело карбонатитов перекрыто мощным чехлом дресвяника, детально изучить его строение пока не удалось. Структура карбонатитов в центральной части их тела чаще всего среднекрупнозернистая, при этом в отдельных образцах зерна карбоната имеют лейстовидную форму, характерную для карбонатитовых лав и сопровождающих их интрузивных аналогов. По составу карбонатиты – существенно кальцитовые породы, содержащие апатит (иногда до 20%), сфен, эгирин-авгит, гастингсит, биотит, титаномагнетит, альбит, калишпат и кварц, количество которых заметно увеличивается в краевых частях карбонатитового тела. В одной из разведочных канав, вскрывающих западный контакт этого тела, в карбонатитах были обнаружены мелкие обломки пироксенитов, похожие на ксенолиты, рассеченные прожилками кальцита либо дезинтегрированные до отдельных кристаллов, которые размещаются в кальцитовой массе. Поэтому, несмотря на то, что ранее высказывалась точка зрения о метасоматическом происхождении карбонатитов Кокшаровского массива [4, 8], отмеченные факты скорее указывают на их магматический генезис, хотя и не исключают возможности проявления метасоматоза на заключительной стадии формирования карбонатитов. При этом в настоящее время большинство исследователей стали рассматривать образование карбонатитовых расплавов с позиций жидкостной несмесимости на заключительных этапах дифференциации щелочно-ультраосновной магмы. Этому в значительной степени способствовало не только изучение расплавных включений в породообразующих минералах щелочных пород, сопровождающих ультрабазиты [12], но и непосредственные находки ликвационных глобулей карбонатитового состава в фонолитах Маймеча-Котуйской провинции [5] и нефелинитах Восточной Африки [22]. Роль и участие углекислоты в генерации щелочных и карбонатитовых расплавов в процессе мантийного магмообразования подтверждена также экспериментальными и петрографическими исследованиями [13, 18]. Установление проявлений

ликвации в лавах меймечит-пикритового комплекса Сихотэ-Алиня [16] с образованием лейкократовых щелочных пород и близость их изотопного соотношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  к установленному в породах Кокшаровского массива ( $\epsilon_{\text{Nd}} = 4.3-4.2$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.703594 \pm 13$  и  $0.703908 \pm 9$ ) [23] с несомненностью указывает на возможность образования карбонатитов в этом массиве в результате флюидного расщепления силикатно – карбонатного расплава, сформировавшегося на заключительном этапе. Об этом свидетельствуют также, как будет показано ниже, полученные нами результаты изотопных анализов карбонатитов и распределение в них редкоземельных элементов.

Помимо описанных выше пород в Кокшаровском массиве предполагается также наличие дунитов, возможно, в виде ксенолитов среди пироксенитов либо более крупных выходов, перекрытых аллювием р. Уссури. Свидетельством их присутствия являются обнаруженные В.М. Шашкиным с коллегам [14] в элювии и делювии, соответственно угловатые и окатанные зерна маложелезистой (9-10 мас. % Fe) и низкоиридийистой (до 1 мас. % Ir) изоферроплатины в сростании с малоглиноземистым (6-7 мас. %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) феррихромитом (50-53 мас. %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ).

Фенитизация вмещающих пород в связи с Кокшаровским щелочно-ультраосновным массивом проявилась неравномерно, а ширина её зон не превышает нескольких десятков метров [4].

### **Распределение элементов- примесей**

Ранее состав и распределение примесных элементов в породах и минералах Кокшаровского массива были подробно рассмотрены в статье М.Г. Руб и В.В. Левицкого [8] на основе метода полуколичественного спектрального анализа. Полученные нами новые данные подтверждают их выводы относительно общности магматического очага, из которого образовались ультраосновные и щелочные породы, и в то же время позволяют выявить родство сфен-роговообманковых пироксенитов (авезакитов) с карбонатитами и сиенитами, а также заметное различие между ийолит-мельтейгитами, ийолитами и сиенитами по распределению большеионных литофилов Ta, Nb, Ba, и Pb.

Как следует из табл. 1-3, в рудных пироксенитах наблюдается резкий перепад содержания хрома от 1022 ppm в их среднезернистых разностях до 15 ppm в крупнозернистых пироксенитах и 2,5 ppm в авезакитах, и никеля в пределах 109-98 и 3,0 ppm, главным минералом - концентратором которых является титаномагнетит [4]. При этом концентрация Ni в 2-3 раза превышает их содержания, установленные в пироксенитах Алданской и Саянской провинций [11]. Большеионные же литофилы, такие как Nb (3,0-8,3 ppm), Sr (108-114 ppm), Ba (27-32 ppm), Zr (73-87ppm) и Rb (1,3-1,6 ppm) присутствуют в магнетитовых пироксенитах в значительно меньших количествах. Кокшаровские рудные пироксениты также содержат Th (0,13-

Таблица 1

## Химический состав пород Кокшаровского массива (мас. %)

Компоненты	1	2	3	4	5	4	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	39.20	28.65	35.16	9.85	7.52	9.85	12.32	13.22	36.65	39.98	54.39
TiO <sub>2</sub>	5.15	7.69	7.46	0.50	0.23	0.50	0.31	0.28	1.99	1.58	0.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.34	3.61	4.49	2.34	2.91	2.34	2.31	2.08	21.26	26.07	21.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.17	19.14	17.75	1.55	0.19	1.55	1.09	1.35	5.20	4.94	4.07
FeO	8.18	14.63	8.87	0.64	0.83	0.64	0.61	0.52	3.71	2.89	2.15
MnO	0.17	0.21	0.28	0.32	0.29	0.32	0.30	0.29	0.14	0.14	0.07
MgO	12.04	10.72	6.22	0.99	1.56	0.99	0.50	0.81	2.54	1.99	0.24
CaO	17.51	12.98	15.18	45.67	45.58	45.67	44.40	43.68	9.88	4.98	2.19
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.27	0.98	0.68	1.38	0.68	1.19	1.07	8.99	10.31	9.72
K <sub>2</sub> O	0.08	0.04	0.30	0.15	0.14	0.15	0.33	0.23	2.87	3.37	1.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.02	1.71	2.37	0.93	2.37	1.30	2.00	0.60	0.13	0.06
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	-	-	0.12	0.15	0.31	0.15	0.04	0.09	0.24	0.44	0.14
П.п.п.	1.10	1.71	1.75	34.96	37.98	34.96	35.13	34.03	5.40	2.94	3.58
Сумма	99.84	99.67	100.27	99.65	99.85	99.65	99.83	99.67	99.47	99.76	99.51
Fe/ (Mg+Fe) ат.%	47.5	62.5	69.1	52.8	26.4	52.8	61.1	54.5	65.0	67.5	93.1

**Примечание.** 1 – среднезернистый магнетитовый пироксенит, обр. К-15-1; 2 – крупнозернистый магнетитовый пироксенит, обр. К-14; 3 – среднезернистый сфен-роговообманковый пироксенит (авезакит) с апатитом и магнетитом, обр. К-13; 4-7 – мелко- среднезернистые альбит-апатитовые карбонатиты, обр. Ц-290/12А, Ц-290/14А, Ц-290/15А, Ц-290/16А; 8 – крупнозернистый ийолит-мельтейгит, обр. КШ-11; 9 – среднезернистый ийолит, обр. К-4; 10 – эгирин-авгит-гастингситовый нефелиновый сиенит, обр. К-17. Прочерк – содержание ниже 0.04 мас. %. Анализы выполнены в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН, г.Владивосток, 2004 г. Аналитик Л.В. Недашковская.

0,15 ppm) и U (0,09-0,17 ppm), характерные для всех пород Кокшаровского массива и сконцентрированные, главным образом, в сфене (49,3 ppm Th и 6,74 ppm U, табл. 2).

Сфен-роговообманковые пироксениты (авезакиты) обладают повышенными, по сравнению с магнетитовыми пироксенитами, содержаниями (ppm) таких индикаторных элементов, как Sr – 436, Nb – 189, а также Th – 7,44 и U – 1,17, что указывает на их родственную связь с карбонатитами. В тоже время, в отличие от рудных пироксенитов, высокое содержание Zr – 448 и Rb – 5,8 объединяет их с ийолитами и сиенитами.

М.Г. Руб и В.В. Левицкий [8] отмечали также наличие примеси элементов группы железа в щелочных породах Кокшаровского массива. Действительно, как видно из табл. 2, в нефелиновых сиенитах установлены Cr и Ni, составляющие 21,5 и 20 ppm, а в ийолит-мельтейгитах и ийолитах обнаружен Co в количестве 2,12-12,19 ppm. Одновременно выявлены кларко-

Содержание элементов-примесей в породах Кокшаровского массива (ppm)

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cr	1022	15	2.5	-	-	-	-	<1.5	<1.5	<1.5	21.50	6.8
Co	61	102	48	6.8	7.2	6.1	9.3	17.46	12.19	2.12	1.7	26
Ni	98	109	3.0	10	9.0	8.0	10	<2	<2	<2	20	6
V	707	570	701	99	7.6	23	26	268	197	189	74	440
Sc	61	56	25	3.3	3.2	3.0	0.8	7.8	4.1	1.5	28	23
Cu	164	116	53	13	12	15	14	40	32	8.9	3.0	179
Pb	1.2	2.1	1.4	8.9	7.9	6.8	15	0.4	0.5	5.6	4.6	2.9
Sn	2.9	3.5	6.5	1.7	0.5	1.1	1.1	2.4	2.0	1.6	2.3	18
Zn	149	239	214	24	6	11	17	72	63	48	50	397
Sr	108	114	436	5863	5268	8893	9149	1752	781	1590	1392	537
Zr	87	73	448	-	-	-	-	162	152	225	198	1569
Hf	3.88	3.36	16.7	-	-	-	-	4.55	3.77	-	4.65	62
Nb	3.0	8.3	189	-	-	-	-	97	77	9.4	21	973
Ta	0.47	0.80	19.7	0.30	0.11	0.11	0.10	4.51	3.60	0.47	0.62	128
Mo	0.7	0.3	0.9	0.2	<0.3	0.3	<0.3	8.0	4.0	<0.3	0.6	1.04
Ga	12	17	19	8.7	7.0	6.9	7.3	18	19	21	24	24
W	4.8	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	<0.02	2.2	1.5	<0.02	4.6	0.3
Th	0.13	0.15	7.44	2.18	0.78	0.87	1.07	1.03	0.93	0.45	3.20	49.3
U	0.17	0.09	1.17	0.31	0.18	0.20	0.23	0.16	0.16	1.44	0.93	6.74
Y	12	7.8	76	104	80	81	96	28	16	0.6	4.2	12
Li	0.9	2.9	5.2	4.2	1.8	3.4	3.0	5.9	20	5.1	36	0.13
Rb	1.3	1.6	5.8	4.3	2.3	4.9	4.4	20	24	15	71	1.5
Cs	0.02	0.02	0.32	0.22	0.05	0.07	0.37	0.05	0.14	1.74	0.42	0.06
Ba	32	27	136	609	543	539	636	108	169	1840	1928	13
Be	0.4	0.3	1.6	0.5	0.20	0.4	0.4	1.0	1.4	3.3	2.6	0.19
Ba/Rb	23.5	16.9	23.6	140.0	237.3	109.9	144.5	5.4	7.2	120.3	27.2	8.6

**Примечание.** 1-10 по табл. 1; 11 – луврит из дайки, обр. – Ц-458/2; 12 – сфен из протоочки магнетитовых пироксенитов, обр. – Ц-435А. Прочерк – нет данных. ICP MS-анализ выполнен в Институте геохимии СО РАН, г.Иркутск, 2004 г. Аналитики М.Е. Маркова, Т.А. Ясныгина, Ю.М. Малых.

вые и более низкие содержания (ppm) Li – 5,1-36, Rb – 15-71 и Be – 2,6-3,3.

Выяснилось также, что кокшаровские ийолит-мельтейгиты и ийолиты отличаются от нефелиновых сиенитов (при содержании Sr в пределах 780-1752 ppm), существенно более высокой (в 5-10 раз) насыщенностью Co, Nb, Ta и Mo при пониженной концентрации Pb (на порядок), Zr (в 1,5 раза) и Ba (на порядок). При этом более высокое содержание циркония в нефелиновых сиенитах согласуется с присутствием в них эвдиалита, а концентраторами бария являются нефелин (0,4-0,6 % Ba), слагающий до 40 % породы, и эвдиалит, содержащий 1-3 % Ba [8]. Эти две группы пород также очень заметно различаются по общей насыщенности редкоземельными элементами, которых в нефелиновых сиенитах оказалось гораздо меньше (10,5-48,62 ppm).

Таблица 3

Содержание РЗЭ в породах Кокшаровского массива (ppm)

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
La	4.36	4.82	124	405	447	374	360	85	25.7	2.53	13.0	467
Ce	15.1	14.0	295	700	758	661	631	163	63	4.47	21.7	1364
Pr	2.81	2.32	42.5	74	66	64	62	19.2	8.35	0.51	2.18	193
Nd	14.2	11.1	180	274	238	231	222	69	32.4	1.87	6.69	827
Sm	4.03	2.76	35.8	38.7	32.4	30.9	37.1	11.6	6.12	0.28	1.13	170
Eu	1.07	0.79	9.52	11.2	9.45	8.78	8.39	3.38	1.78	0.36	0.53	44.3
Gd	3.15	2.25	28.1	33.4	28.0	26.0	29.4	9.20	4.73	0.21	0.95	129
Tb	0.43	0.30	3.51	4.01	3.34	3.23	3.64	1.15	0.64	0.027	0.13	15.9
Dy	2.07	1.46	18.4	22.8	17.7	18.8	20.5	6.00	3.13	0.15	0.71	76
Ho	0.38	0.26	3.18	4.00	3.25	3.24	3.78	1.06	0.59	0.031	0.16	12.2
Er	0.76	0.59	7.55	9.75	7.78	7.71	8.45	2.38	1.40	0.069	0.49	25.4
Tm	0.11	0.08	0.91	1.40	1.13	1.12	1.21	0.31	0.18	0.01	0.09	2.69
Yb	0.56	0.37	5.03	7.53	5.85	5.87	5.62	1.83	1.05	0.055	0.71	12.3
Lu	0.11	0.05	0.63	1.00	0.87	0.82	0.99	0.22	0.14	0.003	0.15	1.27
Σ TR	49.14	41.15	754.13	1586.79	1618.77	1436.38	1394.08	373.33	149.21	10.575	48.62	3340.06
(La/Yb) <sub>N</sub>	5.2	8.7	16.4	35.8	51.0	42.5	42.8	31.1	16.3	30.7	12.3	25

Примечание. 1 -10 по табл. 1; 11 – луврит из дайки, обрЦ -458/2; 12 – сфен из протолочки магнетитовых пироксенитов, обр. Ц -435А. ICP MS-анализ выполнен в Институте геохимии СО РАН, г.Иркутск, 2004 г. Аналитики М.Е. Маркова, Т.А. Ясныгина, Ю.М. Малых.

Кокшаровские существенно кальцитовые (0,50-1,56 MgO мас. %) карбонатиты характеризуются стабильным составом редких элементов в связи с наличием в них одних и тех же примесных минералов (калишпата, апатита, альбита и сфена). В этом отношении они оказались близки к карбонатитам Жидойского массива [6], который в петрографическом отношении в целом (включая перовскитовые пироксениты), подобен Кокшаровскому. Среди пород Кокшаровского массива карбонатиты выделяются максимальными содержаниями Sr (0,5-0,9 мас. %), а также Y – 80-104 ppm, Pb – 6,8-89 ppm и Ba/Rb отношения (110-237) по сравнению с рудными пироксенитами, ийолитами и сиенитами (Y – 0,6-28 ppm, Rb – 0,4-5,6 ppm, Ba/Rb = 17 – 120). Карбонатиты Кокшаровского и Жидойского массивов содержат также одинаковые концентрации свинца, меди, элементов группы железа, совпадают по уровню содержаний Sr (7700 и 7292 ppm соответственно), но содержат в 2 раза меньше Ba (582 ppm) и менее насыщены РЗЭ (1509 ppm). В целом, по уровню содержания Sr, Ba и сумме РЗЭ кокшаровские карбонатиты, как и жидойские, попадают в группу магматических карбонатитов [11].

Породы Кокшаровского массива характеризуются стабильным преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми (табл. 3), что вообще характерно для щелочных пород. Минимальные содержания РЗЭ установлены в рудных пироксенитах (41,15-49,14 ppm) и нефелиновых сиенитах (10,57-48,61 ppm), так же невысоким оказалось в них и  $(La/Yb)_N$  отношение, равное 5,2-8,7 и 12,3-30,7 соответственно. Для рудных пироксенитов это позволяет предполагать кумулятивную природу, а нефелиновые сиениты могут представлять собой дериваты поздней стадии дифференциации, прогрессивно деплетированные РЗЭ.

Значительно более высокий уровень содержания РЗЭ (754,12 ppm) в апатитсодержащих сфен-роговообманковых пироксенитах (авезакитах) обусловлен присутствием в них до 15 % зерен сфена, содержащего 397 ppm La и 1195 ppm Ce (табл. 3), что привело к увеличению содержания этих элементов в породе по сравнению с рудными пироксенитами в 20 раз. В результате кривая распределения РЗЭ авезакитов в области легких лантаноидов достигла уровня концентраций в карбонатитах и ийолит-мельтейгитах (рис. 1), а  $(La/Yb)_N$  возросло до 16, как в ийолитах.

Стабильность минерального состава изученных образцов карбонатитов отражается и в постоянстве содержаний РЗЭ (табл. 3). Карбонатиты Кокшаровского массива содержат РЗЭ в количестве 1394-1618 ppm, т.е. в 30-40 раз больше, чем в рудных пироксенитах или нефелиновых сиенитах, но только в 3-10 раз больше, чем в сфен-роговообманковых пироксенитах, ийолитах и ийолит-мельтейгитах. Для карбонатитов также характерно максимальное среди пород Кокшаровского массива обогащение легкими РЗЭ

относительно тяжелых –  $(La/Yb)_N = 36,8 - 51$ , при этом количество La превышает его концентрацию в хондритах в 1500-1800 раз.

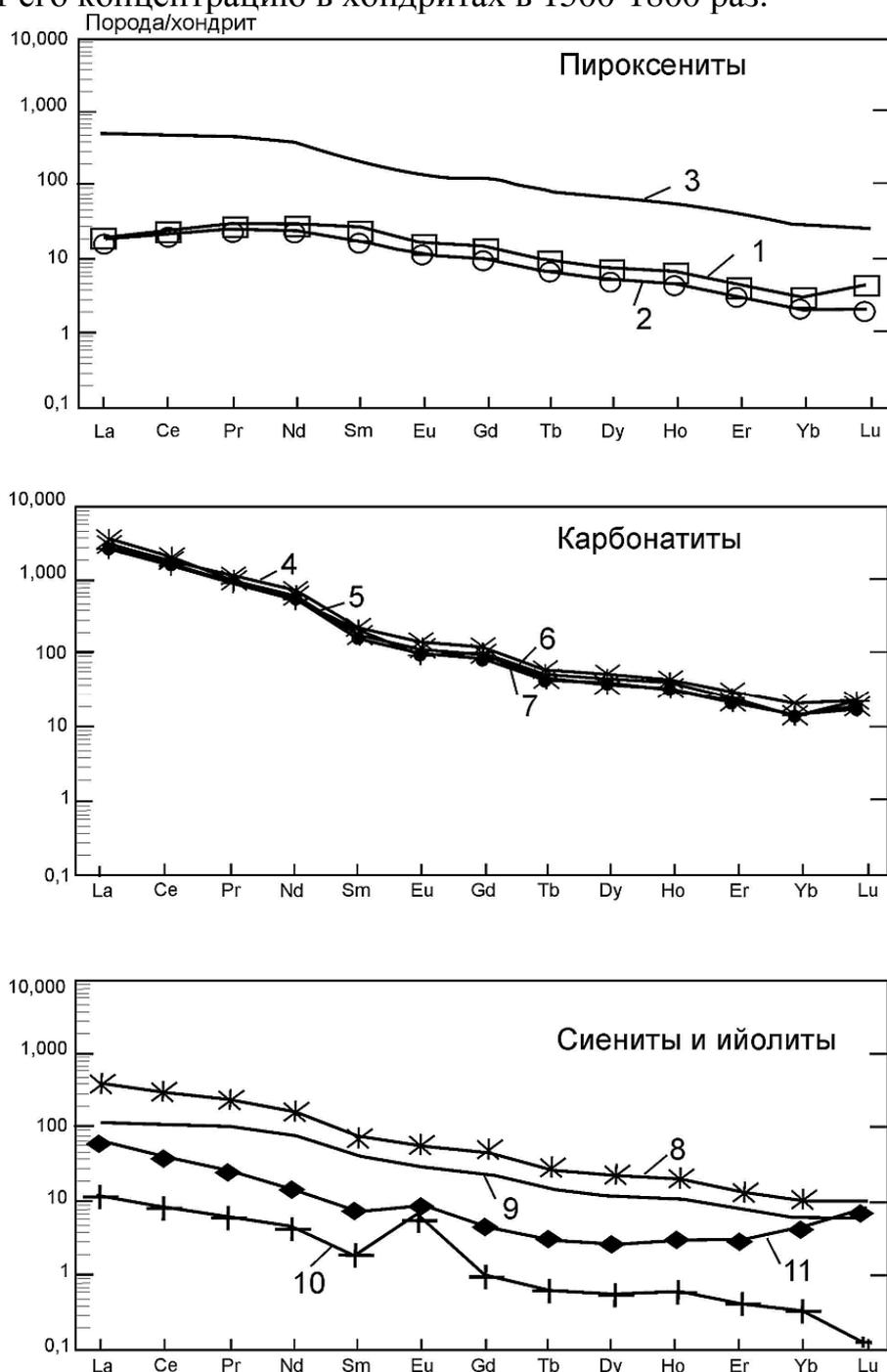


Рис. 1. Распределение РЗЭ в породах Кокшаровского массива.

Порядковые номера соответствуют табл. 3.

Линия нормированного распределения РЗЭ кокшаровских карбонатитов занимает промежуточное положение между пироксенит-карбонатитовыми массивами Ингили и Арбарастах Алданской провинции [23] (рис. 1). По содержанию лантаноидов альбит-апатитовые карбонатиты Кокшаровского массива (табл. 3) идентичны Жидойским карбонатитам как в части легких

РЗЭ (соответственно La 360-447 и 419 ppm, Ce 609-758 и 804 ppm), так и по содержаниям Yb (5,75-7,53 и 6,05 ppm) и Lu (0,82-1,13 и 0,99 ppm).

### **Редкоземельная геохимия и генезис кокшаровских карбонатитов**

Как видно на рис. 1, все четыре пробы карбонатитов Кокшаровского массива, по сравнению с остальными его породами, характеризуются одними из наиболее высоких содержаний РЗЭ и оказались близко соответствующими друг другу, что согласуется с небольшими размерами их тела и свидетельствует о практически полной неизменности этих пород вторичными низкотемпературными процессами. По насыщенности РЗЭ им близко соответствуют авезакиты – сфенсодержащие роговообманково-титанавгитовые пироксениты, вмещающие карбонатитовое тело. Отличаются карбонатиты от авезакитов только большей насыщенностью лантаном и церием, а в остальном (начиная с Pr и Nd) полностью соответствуют им по насыщенности промежуточными и тяжелыми лантаноидами. В этом отношении карбонатитам несколько уступают ийолит-мельтейгиты и ийолиты, которые однако еще менее насыщены лантаном и церием, чем авезакиты. И, наконец, предельно низкими содержаниями лантаноидов, по сравнению с карбонатитами, отличаются пироксениты, а также сиениты, близкие по насыщенности легкими, промежуточными и тяжелыми РЗЭ к пироксенитам, но характеризующиеся наличием европиевого максимума при сходной для всех кокшаровских пород обогащенностью легкими лантаноидами по сравнению с промежуточными и тяжелыми.

Проведенный анализ распределения РЗЭ в образованиях Кокшаровского массива, показавший наличие всех переходных разностей по насыщенности лантаноидами между лейкократовыми и меланократовыми породами, позволяет заключить, что практически все они, начиная от карбонатитов с авезакитами и кончая ийолит-мельтейгитами и пироксенитами, могут представлять собой результат жидкостного магматического расслоения исходного расплава в местах становления массива. Из этого же родоначального расплава в результате ликвации, осложненной кристаллизационной дифференциацией, осуществлявшейся в глубинной промежуточной камере, сформировались, по-видимому, и многочисленные жильные тела щелочных пород, начиная от фойяитов, миаскитов, луявритов и кончая щелочными и нефелиновыми сиенитами. Свидетельства в пользу эндогенной природы кокшаровских карбонатитов были впервые получены Н.В. Владыкиным в 1997 г. [2] на основе информации по изотопии кислорода, углерода, неодима и стронция. Не противоречат им и наши новые данные о соотношении в них изотопов кислорода и углерода. Как видно на рис. 2, большинство фигуративных точек, отвечающих кокшаровским карбонатитам, разместились в области полей первичных изверженных карбонатитов по [21], интрузивных и субвулканических карбонатитов по [19], а также в пределах либо в непосредственной близости от поля ювенильных карбонатитов массива Ока по [20]. При этом, судя по

отношению изотопов неодима и стронция в карбонатитах Кокшаровского массива, можно говорить о происхождении продуцировавших их расплавов в

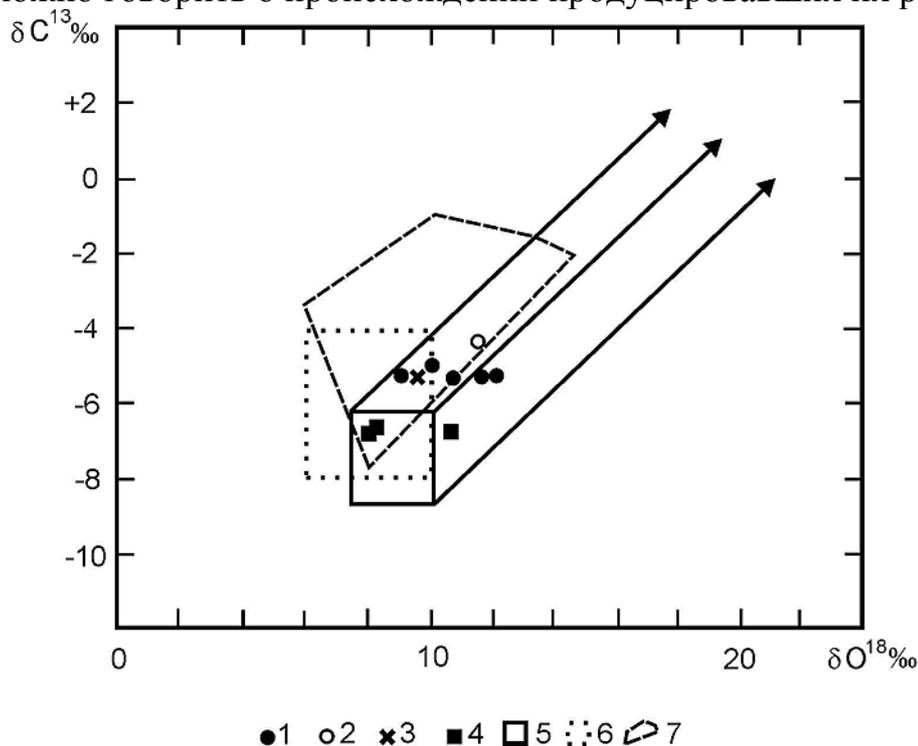


Рис. 2. Соотношение изотопов углерода и кислорода в карбонатитах Кокшаровского массива.

1-2 – Кокшаровский массив (1 – по табл. 4, 2 – по [2]); 3 – Арбарастахский и 4 – Ингилийский массивы по [2, 17]; 5 – мантийный квадрат с линиями трендов дифференциации карбонатитов по [20]; 6 – область первичных изверженных карбонатитов по [21]; 7 – поле интрузивных и субвулканических карбонатитов по [19].

Таблица 4.

Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатитах Кокшаровского массива (‰)

Порода	1	2	3	4	5
$\delta^{13}\text{C}$ pdb	-5.2	-5.1	-5.1	-5.1	-4.9
$\delta^{18}\text{O}$ smow	10.2	9.0	10.7	11.3	10.0

**Примечание.** 1 – обр. К-22, 2 – обр. Ц-290/12А, 3 – обр. Ц-290/14А, 4 – обр. Ц-290/15А, 5 – обр. Ц-290/16А. Анализ выполнен на масс-спектрометре Finnigan Mat-252 в лаборатории стабильных изотопов ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток, 2004 г. Аналитик Т.А. Веливецкая.

результате плавления деплетированной мантии, аналогично карбонатитам Арбарастахского, Ингилийского, Горноозерского, Жидойского и Гулинского щелочно-ультраосновных массивов[2, 17].

## Заключение

Проведенное нами петрографо-геохимическое изучение карбонатитов и ассоциирующих с ними ультраосновных-щелочных пород, слагающих Кокшаровский массив, позволило на основании новых данных обосновать магматический генезис карбонатитов и высказать предположения об условиях их образования. Подтверждено мнение предыдущих исследователей о том, что Кокшаровский массив сложен магматическими образованиями нескольких интрузивных фаз – производных единого магматического очага, варьирующих от титанавгитовых пироксенитов первой интрузивной фазы до жильных и дайковых щелочных пород второй фазы. Взаимоотношения карбонатитов с ассоциирующими породами изучены хуже, но они также отнесены к магматическим образованиям, что подтверждается уровнем содержания в них Sr, Ba и PЗЭ. Судя по распределению PЗЭ, для карбонатитов Кокшаровского массива, по сравнению с пироксенитами и сиенитами, характерно максимальное обогащение легкими PЗЭ относительно тяжелых. По насыщенности PЗЭ они занимают промежуточное положение между карбонатитами Ингилийского и Арбарастахского щелочно-ультраосновных массивов Алданской провинции [23] и близки к карбонатитам Жидойского массива [6].

Характер распределения PЗЭ в породах Кокшаровского массива не противоречит возможности образования карбонатитов в результате ликвации в магматической камере на заключительных этапах дифференциации исходного расплава. На образование кокшаровских карбонатитов из расплавов в эндогенных условиях указывают также полученные нами новые данные по соотношению изотопов углерода и кислорода, а также более ранняя информация о соотношениях в них изотопов неодима и стронция [2], свидетельствующая о глубинном происхождении подобных расплавов в результате плавления деплетированной мантии. Аналогичные условия образования установлены для карбонатитов щелочно-ультраосновных массивов Алданской и Маймеча-Котуйской провинций.

### **Литература**

1. **Беляевский Н.А., Громов Ю.Я., Елисева В.К., Путинцев В.К.** Геология Приморского края. Объяснительная записка к геологической карте Приморского края масштаба 1:500000. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 340 с.
2. **Владыкин Н.В.** Петрология и рудоносность К-щелочных комплексов Монголо-Охотского ареала магматизма. Диссертация на соискание... доктора геол.-минер. наук в виде научного доклада. Иркутск, 1997. 80 с.
3. **Главнейшие провинции и формации щелочных пород.** Отв. ред. Бородин Л.С. М.: Наука, 1974. 376 с.
4. **Залищак Б.Л.** Кокшаровский массив ультраосновных и щелочных пород (Южное Приморье). М.: Наука, 1969. 115 с.
5. **Когарко Л.Н.** Роль сульфидно-карбонатно-силикатной и карбонатно-силикатной ликвации в генезисе Са-карбонатитов // Глубинный магматизм, магматические источники и проблема плюмов. Тр. II Международного семинара. Иркутск-Владивосток, 2002. С. 43-53.

6. **Конев А.А.** Жидойский щелочно-ультраосновной плутон. М.: Наука, 1970. 84 с.
7. **Октябрьский А.Т., Пискунов Ф.А., Бурьянова И.З.** Щелочные породы Кокшаровского массива // Информационный сборник № 1. Приморское геологическое управление. Владивосток, 1960. С. 49-60.
8. **Руб М.Г., Левицкий В.В.** Петрогеохимические особенности Кокшаровского массива ультраосновных и щелочных пород и сопровождающих их постмагматических образований // Тр. ИГЕМ АН СССР, 1962. Вып. 76. С. 99-124.
9. **Руб М.Г., Руб А.К., Чистякова Н.И., Руб И.А., Кривошеков Н.Н.** Ультраосновные щелочные породы Кокшаровского массива (Приморье) как потенциальный источник титана // Тихоокеанская геология, 1995. Т. 14. № 5. С. 21-36.
10. **Саматова Л.А., Голозубов В.В., Ничипуренко В.И., Ничипуренко О.П.** Новые данные о рудоносности Кокшаровского массива ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов (Приморский край) // Фосфаты востока Азии и прилегающих морей. Владивосток, 1984. С. 54-60.
11. **Самойлов В.С.** Геохимия карбонатитов. М.: Наука, 1984. 189 с.
12. **Соколов С.В.** Об условиях образования нефелин-пироксеновых пород ультраосновных щелочных комплексов // Советская геология, 1990. № 7. С. 80-90.
13. **Соколов С.В.** Щелочно-карбонатитовые комплексы и условия образования карбонатитов // Геохимия, 1993. № 11. С. 1569-1578.
14. **Шашкин В.М., Столяренко В.В., Ботова М.М.** Платинометальная минерализация Кокшаровского щелочно-ультраосновного массива // Докл. АН СССР, 1991. Т.14. №5. С. 710-714.
15. **Шейнманн Ю.М.** Закономерности размещения провинций ультраосновных-щелочных пород // Геологическое строение и минералого-геохимические особенности редкометалльных карбонатитов. М.: Госгеолтехиздат, 1962. С. 5-9.
16. **Щека С.А., Вржосек А.А., Гребенников А.В., Савада И.** Еще раз о ликвации природных силикатных расплавов // Геодинамика и металлогения. Владивосток, Дальнаука, 1999. С. 81-92.
17. **Vladykin N.V.** The Aldan Province of K-alkaline rocks and carbonatites: problems of magmatism, genesis and deep sources // Alkaline magmatism and the problems of mantle sources. Irkutsk, 2001. P. 16-40.
18. **Dalton J.A., Wood B. J.** The compositions of primary carbonate melts and their evolution through wall rock reaction in the mantle // Earth Planet. Sci. Lett., 1993. V. 119. P. 511-525.
19. **Deines P., Gold D.P.** The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep – seated carbon // Geochim. Cosmochim. acta, 1973. V. 37. P. 1709-1733.
20. **Javoy M., Pineau F., Delorme H.** Carbon and nitrogen isotopes in the mantle // Chem. Geol., 1986. V. 57. P.41-62.
21. **Keith M.L., Weber J.N.** Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils // Geochim. et cosmochim. acta, 1964. V. 28. P. 1787-1816.
22. **Kjarsgaard B.A., Peterson T.D.** Nephelinite-carbonatite liquid immiscibility at Shombole Volcano, East Africa // Miner. and Petrol., 1991. V. 43. P. 293-314.
23. **Morikiyo T., Miyazaki T., Kagami H., Vladykin N.B., Chernysheva E.V., Panina L.I., Podgornykh N.M.** Sr, Nd, C and O isotope characteristics of Siberian carbonatites // Alkaline magmatism and the problems of mantle sources. Irkutsk, 2001. P. 69-84.
24. **Shcheka S. A., Vrzhosek A.A., Vysotskiy S.V.** Yurassic meymechite-picrite complexes of Primorye, Russia: comparative study with komatiite and Japanese picrite suites // Plumes and problems of deep sources of alkaline magmatism. Khabarovsk, 2003. P. 184-200.

УДК 552.2