

## Геохимия изотопов углерода и кислорода карбонатитов Сибири и Монголии и некоторые геодинамические следствия

Владыкин Н.В.<sup>1</sup>, Morikiyo T.<sup>2</sup>, Miyazaki T.<sup>3</sup>, Цыпукова С.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, Россия, г.Иркутск, Россия*

<sup>2</sup> *Department of Geology, Shinshu University, Asahi, Matsumoto, Japan*

<sup>3</sup> *Japan institute for Geothermal Sciences, Kyoto University, Beppu, Japan*

### Введение

Карбонатиты - одни из сложнейших образований природы, всязанные с глубинными силикатными ультраосновными и щелочными комплексами. Их магматический генезис и мантийность первичных магм, дифференциатами которых они являются, в настоящее время у большинства исследователей не вызывает сомнений. Так как на поверхности не всегда присутствуют все члены пород карбонатитовых комплексов и из за плохой обнаженности территорий отнесение карбонатных пород к карбонатитам до сих пор проблематично. Для этого используют минералогические (наличие редкометалльных Nb, Zr, TR -минералов) и геохимические критерии (повышенные концентрации Ba, Sr, Nb, TR и др. элементов). Особое место в геохимической характеристике карбонатитов занимает геохимия стабильных изотопов, благодаря которой возможно определить и тип мантии, из которой выплавлялись магмы, давшие начало карбонатитам. Однако, еще много вопросов изотопной геохимии не решены, а накопление данных приводит к расширению существующих границ изотопных «догм». Например, еще 20 лет назад мантийными считались только породы, имеющие отношение изотопов Sr 0.703-0.704. Развитие изотопной геохимии Nd и накопление аналитических данных по изотопам Nd и их соотношения с изотопами Sr показали, что отношение изотопов Sr 0.703 характерны для деплетированной мантии, а для обогащенной мантии EM-1 и особенно EM-2 эти величины возрастают до 0.720 (например, в несомненно мантийных лампроитах Австралии и Испании). Расширился и круг пород, в ассоциации с которыми встречаются карбонатиты (например, щелочные породы K-ряда) и районы распространения карбонатитовых комплексов. Ранее считалось, что карбонатитовые комплексы образуются только по периферии платформ и щитов, но в настоящее время в большом количестве они встречены и в районах заверенной складчатости, например в Монголии или Бурятии. Так как карбонатитовые комплексы имеют мантийное происхождение, то

интересно определить связь геодинамических обстановок их образования с типом исходного для них мантийного субстрата.

В данной работе использованы изотопные данные, полученные для карбонатитовых объектов обрамления Сибирской платформы, Алданского щита, Южной Монголии, Приморья и для сопоставления приводятся данные по массивам Кольского полуострова и Средней Азии. Геохимические пробы карбонатитов собраны за последние 30 лет Н.В.Владыкиным, а изотопные данные по ним получены Т. Morikiyo и Т. Miyazaki в Шинши, Киото и Ниигата- университетах (Япония). Кроме того, в работе использованы пробы Е.А. Чернышевой, Л.И. Паниной и Н.М. Подгоных, опубликованные нами в совместной работе [26], в которой подробно изложена и методика анализа изотопов. Поэтому здесь мы приводим краткое описание этой методики.

### **Карбонатиты обрамления Сибирской платформы**

В данной работе рассмотрены данные по изотопам углерода и кислорода Восточно-Саянской провинции (массивы Большезиминский, Среднезиминский, Тагнинский и Жидойский), Маймеч-Котуйской провинции (массивы Гули и Ессей), Енисейского кряжа (массивы Кия и Татарский). Расположение массивов показано на рис. 1. Значения изотопов углерода и кислорода приведены в табл. 1 и рис. 2.

Массив Гули. Самый крупный из массивов карбонатитовых комплексов. Площадь массива 600 км<sup>2</sup> (по геофизическим данным 2000 км<sup>2</sup>.) Он расположен на севере Сибирской платформы и входит в состав Маймеч-Котуйской провинции. Массив имеет концентрически-зональное строение и сложен [13]: дунитами-перидотитами, пироксенитами, мелилитовыми породами, оливиновыми меланефеленитами, ийолитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами. Завершают магматическую серию кальцитовые и доломитовые карбонатиты. Вариации изотопов углерода в карбонатитах незначительны, в пределах от -2.9 до - 5.3 (табл. 1 рис. 2), а изотопов кислорода от 6.4 до 11.6. Наиболее тяжелый углерод и самый легкий кислород в кальцитовом карбонатите с пироксеном и пирохлором, а самый легкий углерод и тяжелый кислород в доломитовом карбонатите. В карбонатитах, где сосуществуют кальцит и доломит распределение изотопов между ними следующее. В ранних форстерит-кальцитовых карбонатитах (где доломита мало) значения изотопов кислорода одинаковые, а углерод более тяжелый в доломите. В доломитовых карбонатитах (где мало кальцита) значения изотопов углерода в сосуществующих карбонатах одинаковые, а кислород более тяжелый в кальците. В целом от ранних карбонатитов к поздним идет увеличение значений изотопов и кислорода и углерода.

Массив Ессей. Расположен в той же провинции. Площадь массива 6 км<sup>2</sup>. Он сложен оливинитами и перидотитами, ийолитами, форстерит-апатит-магнетитовыми породами (фоскоритами) и кальцитовыми карбонатитами [13]. Вариации изотопов углерода в карбонатитах и фоскоритах от -3.2 до -

4.6, а кислорода от 8.0 до 9.4. Наиболее легкий углерод встречен в апатит-магнетитовой породе. В сосуществующих кальците и доломите из карбона-

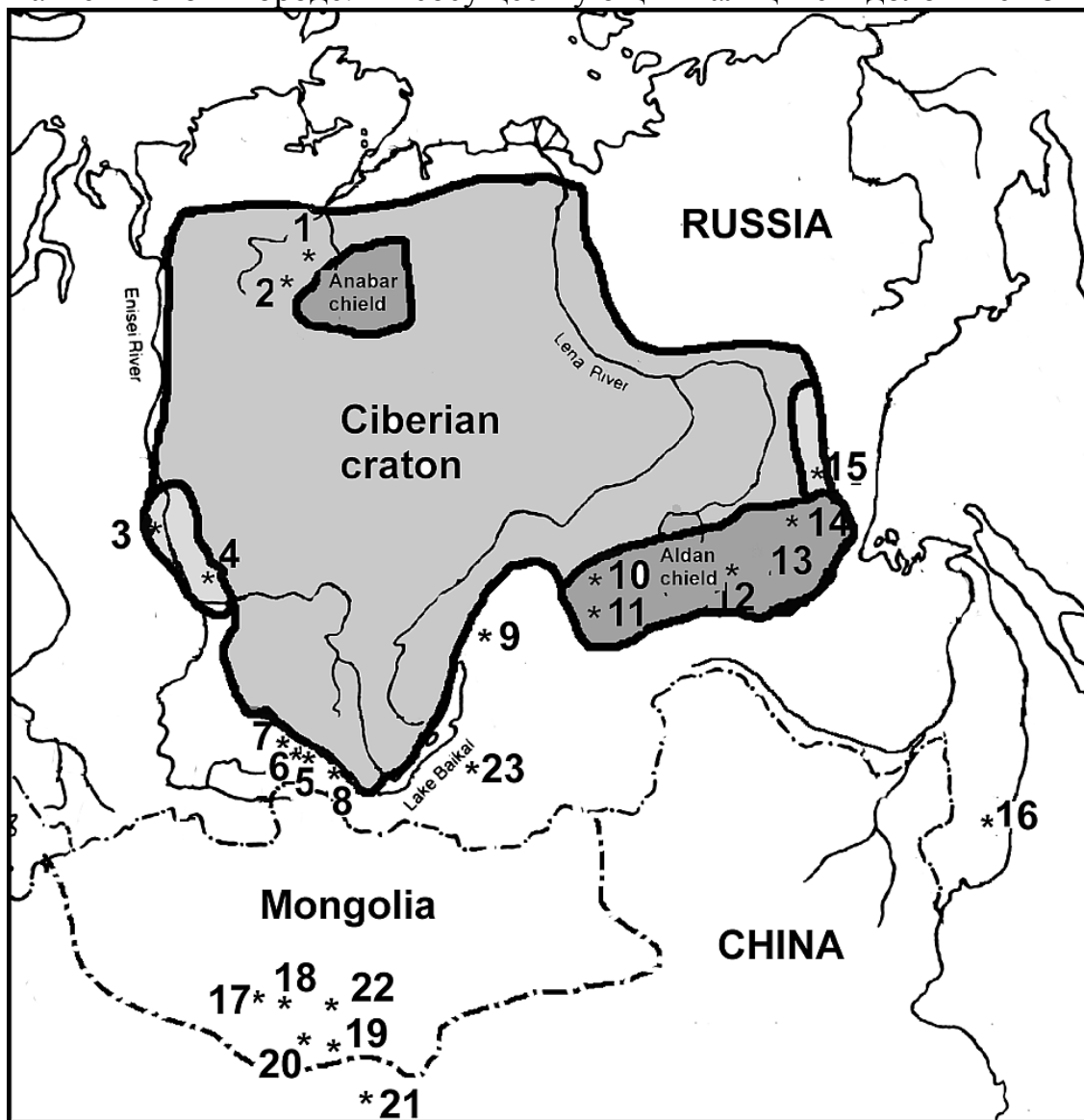


Рис.1. Географическое положение карбонатитовых массивов.

Массивы: 1-Гули, 2- Ессей, 3- Кийский, 4-Татарский, 5-Белая Зима, 6-Средняя Зима, 7- Тагна, 8-Жидойский, 9- Бурпала, 10- Мурун, 11- Хани, 12- Билибинский, 13- Арбарастах, 14- Ингили, 15- Горное озеро, 16-Кокшаровский, 17- Мушугай, 18- Баян-Шушу, 19-Лугингол, 20-Хан-Богдо, 21-Баян-Обо, 22-Улугей, 23-Халюта.

титов и фоскоритов значения изотопов кислорода близкие, а углерод более тяжелый в доломите (содержание доломита в обоих породах незначительное).

Кийский массив. Массив расположен в СЗ части Енисейского Кряжа, площадь его 15 км<sup>2</sup> [22]. Массив сложен йолитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами и карбонатитами. Значения изотопов углерода в кальцитовых карбонатитах – 3.5 и кислорода 4.7. Это самый легкий кислород

Таблица 1.

**Значения изотопов кислорода и углерода в карбонатах Сибири и Монголии**

№ п.п.	Массив	Номер пробы	Название породы	Кальцит		Доломит	
				<sup>18</sup> O	<sup>13</sup> C	<sup>18</sup> O	<sup>13</sup> C
1	Ессей	e2014	Дол.-Кс. карбонатит с Ар и Mgt	8,0	-3,9	8,0	-3,3
2		e200	Форст.-Ар-Mgt порода с Дол.-Кс.	9,0	-3,9	9,4	-3,2
3		e2028	Mgt –Ар порода	8,7	-4,6		
4	Гули	Gu-1	Phl-Кс карбонатит с Ру и пирохлором	6,3	-5,3		
5		Gu-2	Форст.-Кс. карбонатит с Mgt, пирохлором, бадделеитом	7,2	-4,4	7,3	-4,0
6		Gu-3/4d	Доломитовый карбонатит с пирохлором			6,4	-3,8
7		Gu802d	Доломитовый карбонатит			9,0	-2,9
8		Gu803/2	Кальцитовый карбонатит	8,1	-4,2		
9		Gu823	Дол.-Кс карбонатит	11,6	-3,3	10,2	-3,2
10	Кийский	Ki y-240	Кальцитовый карбонатит	4,7	-3,5		
11	Татарский	T2371/10	Кс-форстеритовый карбонатит	15,5	-4,1	15,3	-3,8
12		T1704/27d	Доломитовый карбонатит			7,4	-5,2
13		T162/35d	Анкерит-доломитовый карбонатит			8,2	-5,0
14	Белозиминский	B1a	Gr-Ру-Ne-Кс карбонатит (1 ст.)	7,4	-5,9		
15		B1b	Gr-Ру-Ne-Кс карбонатит (1 ст.)	6,6	-5,8		
16		B1c	Gr-Ру-Ne-Кс карбонатит (1 ст.)	6,7	-5,5		
17		B2a	Ру–Кс карбонатит с Mgt, Phl, Ар, пирохл. 1	6,6	-6,0		
18		B2b	Ру–Кс карбонатит с Mgt, Phl, Ар, пирохл. 1	6,9	-5,9		
19		B6w	Анкеритовый карбонатит	6,6	-5,7	6,1	-5,0
20		B6g	Анкеритовый карбонатит	7,3	-4,9	6,3	-4,8
21		B7	Анкеритовый карбонатит (4)	10,7	-4,1	9,8	-4,0
22		B5/11	Vt-Кс-Ру карбонатит (2-3)	7,3	-6,0	6,5	-5,8
23		B66/2	Кс-Phl-Ру, к/з, с.66, гл.98м	8,0	-5,9		
24		B521/6	Кс кар-т с сульфидами, Phl, с.521, гл.95м (4)	5,2	-4,5	4,8	-4,5
25		B549/4	Кс-Ру карбонатит, к/з, с.549, гл.55м (2-3)	8,1	-6,1		
26		B598/3	Кс-Phl-форст. с пирохлором карбонатит, с. 549, гл.70м	8,0	-5,3	8,10	-4,8
27		Средне-зиминский	SB1/1	Биотит-кальцитовый карбонатит	6,80	-5,5	
28	SB 86/7		Биотит-Ру-кальцитовый карбонатит	7,60	-5,7		
29	SB 113/3		Кальцитовый карбонатит	6,90	-5,5		
30	Тагна	BT1	Ср/з Кс карбонатит, с.10, гл.221м	12,0	-2,6		
31		BT2	Кс карбонатит с сульфидами, Mgt-20%	12,4	-3,1		
32		BT3-4	Кс-микроклиновая порода мезократовая с сульфидами 30%, с.10, гл. 214м	13,9	-3,0		
33		BT5	Vt-Fsp-Ру порода с сульфид., с.10, гл.207,5м	13,2	-3,7		

Таблица 1 (Продолжение).

№ п.п.	Массив	Номер пробы	Название породы	Кальцит		Доломит	
				<sup>18</sup> O	<sup>13</sup> C	<sup>18</sup> O	<sup>13</sup> C
34		Bt8/11	Кальцитовый карбонатит	12,5	-2,9		
35	Жидой	Zd316/3	Кальцитовый карбонатит с апатитом	7,5	-5,2		
36		Zd327	Кальцитовый карбонатит	7,1	-5,5		
37	Бурпала	Bur311/21	Кварц-кальцитовый карбонатит	12,8	-1,8		
38	Кокшаровский	Kw 22	Кальцитовый карбонатит	11,2	-4,2		
39	Дарай-Пиоз	Dp322	Кс-Ар карбонатит с TR	15,9	-3,2		
40		Dp91/1	Кс-Ру карбонатит	16,3	-2,9		
41	Мушугай Худук	Myw540a	Ксенолиты Кс в меланефелинитовой лаве	13,0	1,2		
42		Myw1986	Кальцитовый карбонатит	15,2	-1,6	16,6	1,3
43		Myw1910	Кальцитовый карбонатит	15,6	-0,7		
44		Muw1977	Флюорит-Кс--карбонатит	16,9	-1,5		
45	Лугин-гол	Ly1778	Кс-синхизитовый карбонатит	23,3	-1,5		
46		Ly1779	Кс-бастнезитовый карбонатит	24,6	-2,4	25,2	-2,1
47		Ly-1d	Кс- карбонатит с бастнезитом			19,1	-0,3
48	Баян-Хушу	Bax2031	Кс-целестин-флюоритовый карбонатит	17,9	-0,9		
49		Bax2032d	Доломитовый туф			22,3	-0,6
50	Горное озеро	ro1	Кс - карбонатит	8,5	-4,7	8,3	-4,4
51		ro2d	Кс-карбонатит с TR (бербанкит)	17,8	-2,5		
52	Ингили	ung309	Кс-Bt-Amf карбонатит	8,0	-6,5		
53		ung314	Биотит-кальцитовый карбонатит	8,1	-6,6		
54		ung42/50	Флюорит-кальцитовый карбонатит	13,0	-5,9	13,9	-5,4
55	Арбарастах	Abc275	Кс-Amf -Bt карбонатит	9,3	-5,3		
56		Abc273	Кс-Mgt-Ар карбонатит с пироксеном	7,6	-5,3	7,9	-4,6
57	Мурун	Za136/52	Кальцит-бенстонитовый карбонатит	9,4	-7,5		
58		Za137/5	Кварц-кальцитовый карбонатит (графика)	9,7	-7,9		
59		Za143	Кальцитовый карбонатит (Кс+Fsp+Py)	7,9	-8,1		
60		Za157	Бенстонитовый карбонатит (Бенст.+Fsp)	8,3	-6,5		
61		Za173	Чароит-кальцитовый карбонатит	9,4	-7,7		
62		Za186	Кс- карбонатит с Тфф, К-рихтеритом	10,4	-6,6	9,7	-6,2
63		Z1052/20	Bt-Py-Кс карбонатит	9,8	-5,2		
64	Хани	Xn205	Кс-карбонатит с Fsp, Py, Ap	8,6	-8,0		
65		Xn206	Кс-карбонатит с Ap Fsp, Gr	8,5	-8,4		
66	Билибский	Lam67/9	Кс-карбонатит с Ap	8,3	-4,6	7,5	-4,4
67	Турий п-ов	Tu 316/4	Phl-Кс карбонатит	7,6	-2,4		
68		Tu 330 /4	Bt карбонатит с Ap	8,5	-2,8		
69		Tu 324/4	Кс-карбонатит с Тфф и доломитом	8,1	-2,2	7,3	-2,0
70	Вуори-ярви	VJ1	Форстерит-Кс-карбонатит (1)	7,5	-4,6		
71		VJ2	Флогопит- Кс-карбонатит (2)	7,3	-3,4		

Таблица 1 (Окончание).

№ п.п.	Массив	Номер пробы	Название породы	Кальцит		Доломит	
				$^{18}\text{O}$	$^{13}\text{C}$	$^{18}\text{O}$	$^{13}\text{C}$
72	Ковдор	Kv-1d	Доломитовый карбонатит			9,7	-1,7
73		Kv-2	Доломит-кальцитовый карбонатит	15,7	-1,2		
74		Kv-3d	Доломитовый карбонатит			9,4	-1,8

**Примечание.** Дол.-доломит, Кс-кальцит, Аз-апатит, Mgt-магнетит, Форс.-форстерит, Ру-пироксен, Гр-гранат, Не—нефелин, Phl-флогопит, Вт-биотит, Fsp-фельдшпатаиды, Amf-амфибол, Тфф-тетраферрифлогопит. В номерах 46,47,54 присутствует не доломит, а бастнезит, а в № 51- бербанкит.

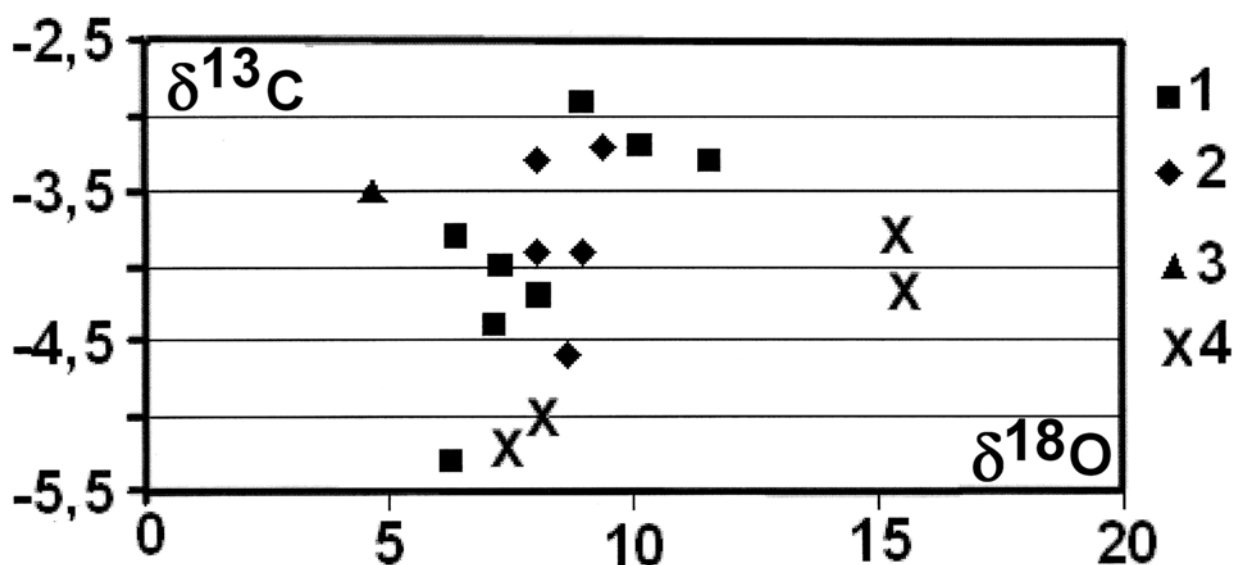


Рис 2. Соотношение изотопов углерода и кислорода в массивах: 1-Гули, 2- Ессей, 3- Кийский, 4-Татарский.

из всех исследованных нами карбонатитов Сибири.

**Татарский массив.** Он расположен в ЮВ части Енисейского Кряжа. Массив сложен доломитовыми, кальцит-форстеритовыми и анкеритовыми карбонатитами. Силикатных пород в массиве не обнаружено. Встречаются ксенолиты сильно хлоритизированных и серпентинизированных пород, которые возможно были ранними породами массива. Вариации значений изотопов углерода в карбонатитах от  $-3.8$  до  $-5.2$ , а кислорода от  $7.4$  до  $15.52$ . В сосуществующих кальците и доломите (кальцита много больше, чем доломита) значения изотопов кислорода близкие, а углерод более тяжелый в доломите.

**Вост.-Саянская провинция.** Провинция включает в себя 4 массива: Белая Зима, Средняя Зима, Тагна и Жидойский [22]. Значения изотопов углерода и кислорода приведены в табл. 1 и рис. 3.

**Массив Белая Зима (Нижнесаянский).** Площадь массива  $17 \text{ км}^2$ . Он сложен пироксенитами, ийолитами, мелилитовыми породами, сиенитами и карбонатитами. В массиве известны кальцитовые, доломитовые и анкерито-

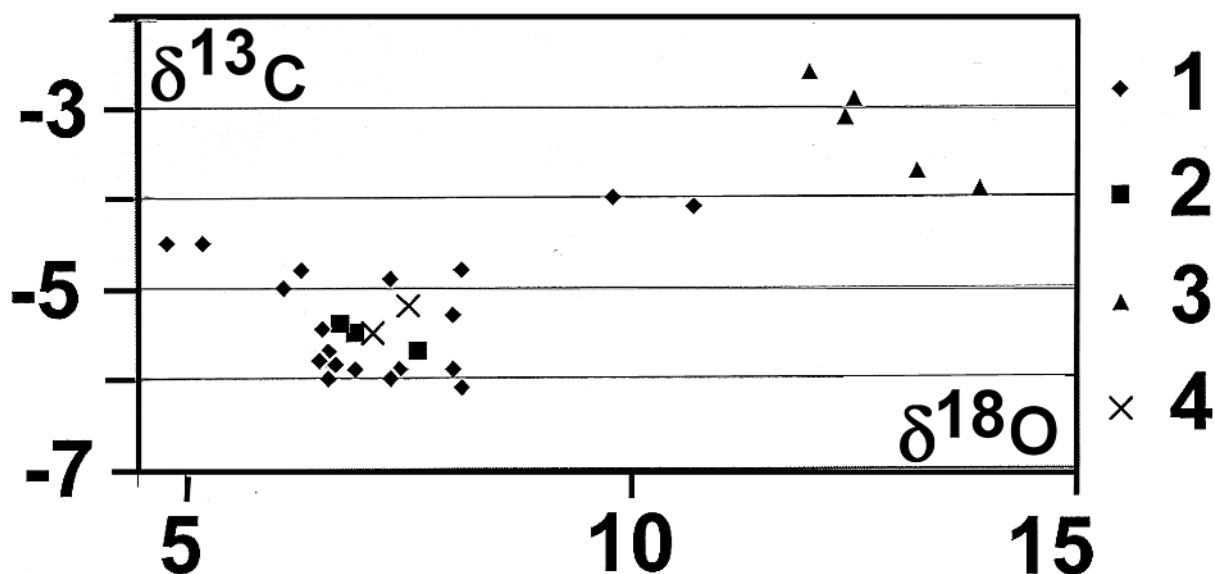


Рис 3. Соотношение изотопов углерода и кислорода в массивах: 1- Белая Зима, 2- Средняя Зима, 3- Тагна, 4- Жидойский.

вые карбонатиты, которые разделены на 5 стадий карбонатитообразования. Вариации значений изотопов углерода в карбонатитах незначительные, от – 4.0 до – 6.1., а кислорода значительные - от 4.8 до 10.7. В кальцитовых карбонатитах, содержащих различные минералы (пироксен, гранат, флогопит, форстерит, пироклор, сульфиды) в основном варьируют значения изотопов углерода от –4.8 до – 6.0, а изотопы кислорода остаются на близком уровне. В кальцит-доломитовых и анкерит-кальцитовых карбонатитах, где сосуществуют 2 карбоната, значения изотопов углерода в парах на близком уровне, а кислород более тяжелый в кальците, хотя содержания кальцита намного меньше, чем анкерита.

Массив Средняя Зима (Верхнесаянский). Площадь массива 7 км<sup>2</sup>. От сложен ийолитами, нефелиновыми сиенитами и карбонатитами. Карбонатиты кальцитовые с биотитом и пироксеном. Вариации значений изотопов незначительные: углерода от –5.5 до – 5.7, а кислорода до 6.8 до 7.6.

Массив Тагна (Большетагнитский). Площадь массива 9 км<sup>2</sup>. Он сложен ийолитами, щелочными сиенитами, микроклинитами, карбонатитами и дайками пикритов, тингуаитов и нефелинитов. Карбонатиты разделены на кальцитовые, кальцит-флюоритовые и анкеритовые. Вариации значений изотопов углерода в карбонатитах и микроклинитах от -2.6 до – 3.9, а кислорода 12.0 до 13.9. Среди этих трех массивов в Тагнинском массиве наиболее тяжелые изотопы кислорода.

Жидойский массив. Массив находится значительно южнее первых трех массивов.

Массив сложен пироксенитами, ийолитами и дайками сиенитов и карбонатитов [7]. Карбонатиты существенно кальцитового состава с небольшим количеством апатита. Вопросу геохимии изотопов в Жидойском

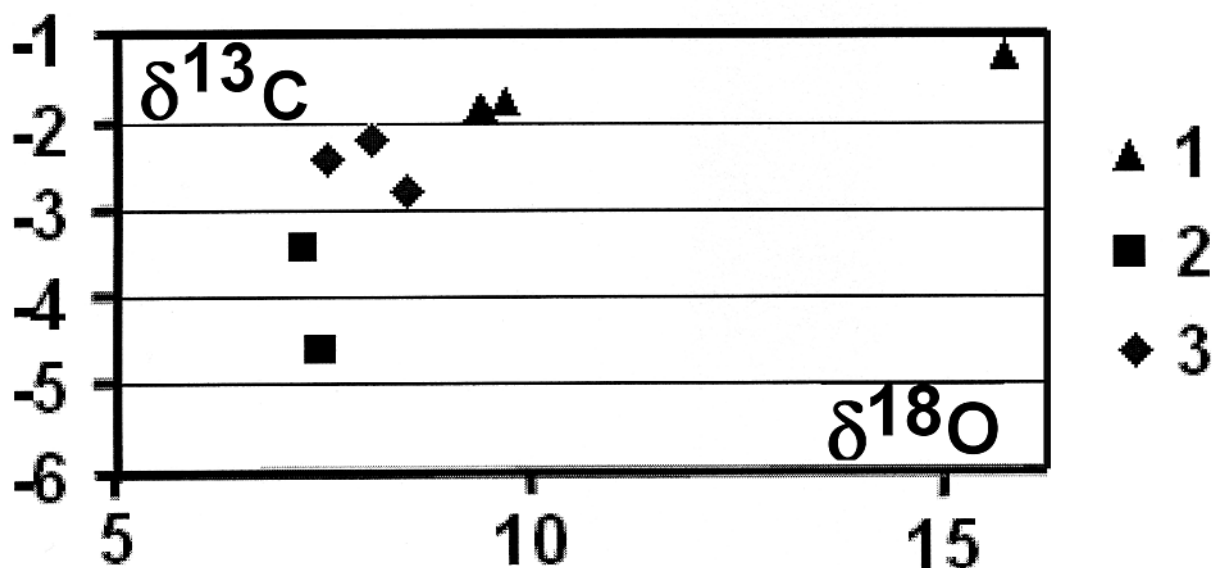


Рис 4. Соотношение изотопов углерода и кислорода в массивах: 1-Ковдор, 2-Турый мыс, 3- Вуориярви.

массиве посвящена отдельная статья [26]. Значения изотопов углерода и кислорода в карбонатах Жидойского массива близки к карбонатам массива Белая Зима.

Для сопоставления с карбонатами Сибирской платформы нами проанализированы пробы некоторых карбонатов Кольского полуострова - массивы Ковдор, Вуориярви и Турьего полуострова. Значения изотопов углерода и кислорода приведены в табл. 1 и рис.4.

Ковдорский массив относится к классическим массивам ультраосновных-щелочных пород и карбонатов. Площадь массива 40 км<sup>2</sup>. Массив сложен [22] оливинитами, пироксенитами, мелилитовыми и монтчеллитовыми породами, ийолитами и дайками щелочных и нефелиновых сиенитов. Более поздними породами является крупный шток фоскоритов рудного комплекса (магнетит-форстерит-апатит-флогопит-кальцитовые породы), переходящие на глубине в кальцитовые и доломитовые карбонаты. В центре массива имеется крупное тело оливин – диопсид - флогопитовых пород. Значение изотопов углерода в карбонатах варьирует в небольших пределах, от -1,2 до -1,8, и изотопов кислорода от 9,4 до 15,7 (рис. 4.). В доломитовых карбонатах вариации изотопов незначительные, а в доломит-кальцитовом карбонате более тяжелый углерод и кислород, чем в чисто доломитовых породах (соответственно -1,2 и 15,7).

Массив Вуориярви. Площадь массива 20 км<sup>2</sup>. Массив сложен [22] пироксенитами, ийолитами, фоскоритами (апатит-магнетит-форстеритовые породы) и кальцитовыми карбонатами. Карбонаты форстерит-кальцитовые и флогопит-кальцитовые по изотопам кислорода почти не



различаются (7,3-7,5). Вариации изотопов углерода более значительные, от -3,4 до -4,6, причем более тяжелый углерод во флогопитовых карбонатитах.

Проявление карбонатитов Турьего полуострова. В районе развития карбонатитов известны выходы пироксенитов, мелилитовых пород, ийолитов и апатит-магнетитовых пород. Карбонатиты кальцитовые с флогопитом, апатитом и тетраферрифлогопитом. Вариации изотопов углерода незначительные от -2,2 до -2,8 и кислорода от 7,6 до 8,5. Наиболее тяжелый кислород в апатитовом карбонатите. По геохимии изотопов карбонатиты Кольского полуострова близки к карбонатитам массивов обрамления Сибирской платформы.

### **Карбонатиты складчатых поясов**

В данном разделе будут рассмотрены карбонатиты Монголии, Приморья, и Сев. Прибайкалья. В Монголии известны проявления карбонатитовых комплексов К-ряда в районе Ю.Гоби. Это вулканы Мушугай-Худук и Баян-Хушу [15-17] и массив псевдолейцитовых сиенитов Лугингол [14]. Последний находится в 100 км от известного проявления карбонатитов с рудами TR Баян-Обо с Китае. Значения изотопов углерода и кислорода приведены в табл. 1 и рис. 5.

Вулканическая область Мушугай-Худук. Находится в 100 км южнее г.Даландзадгад. На площади более 100 км<sup>2</sup> развиты потоки лав и туфолав меланефеленитов, трахитов, фонолитов, штоки нефелиновых и щелочных сиенитов. Они прорваны дайками и диатремовыми структурами апатит-магнетитового и карбонатитового состава. Карбонатиты в основном кальцитовые и кальцит-флюоритовые. Встречены так же церуссит-содержащие туфы [5, 6, 9]. Для всех карбонатитовых проявлений складчатых поясов характерны более тяжелые изотопы углерода и кислорода, чем в карбонатитах других областей. Вариации значений изотопов углерода в карбонатитах Мушугай-Худука от -1,6 до +1,2, а кислорода от 13 до 16,9. В ликвационных выделениях карбонатитов в лавах меланефеленитов и мелалейцититов (табл. 1, № 540а) наиболее тяжелые изотопы углерода и наиболее легкие изотопы кислорода. В микрозернистых дайковых карбонатитах кальцитового и кальцит-флюоритового состава наиболее легкие изотопы углерода и близкие значения изотопов кислорода. В сосуществующих карбонатах кальците и доломите близкие значения изотопов кислорода, а изотопы углерода в доломите намного более тяжелые, чем в кальците.

Массив Баян-Хушу. Находится в 50 км восточнее Мушугай-Худука [15]. Массив сложен шонкинитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами, которые прорваны дайками кальцит-флюорит-целестиновых (и баритовых) карбонатитов. Во вмещающих породах встречено жильное тело доломитовых туфов. Значения изотопов углерода варьирует от -0,6 до -0,9, а кислорода от 17,9 до 23,8. В туфе изотопы кислорода более тяжелые, чем в карбонатите.

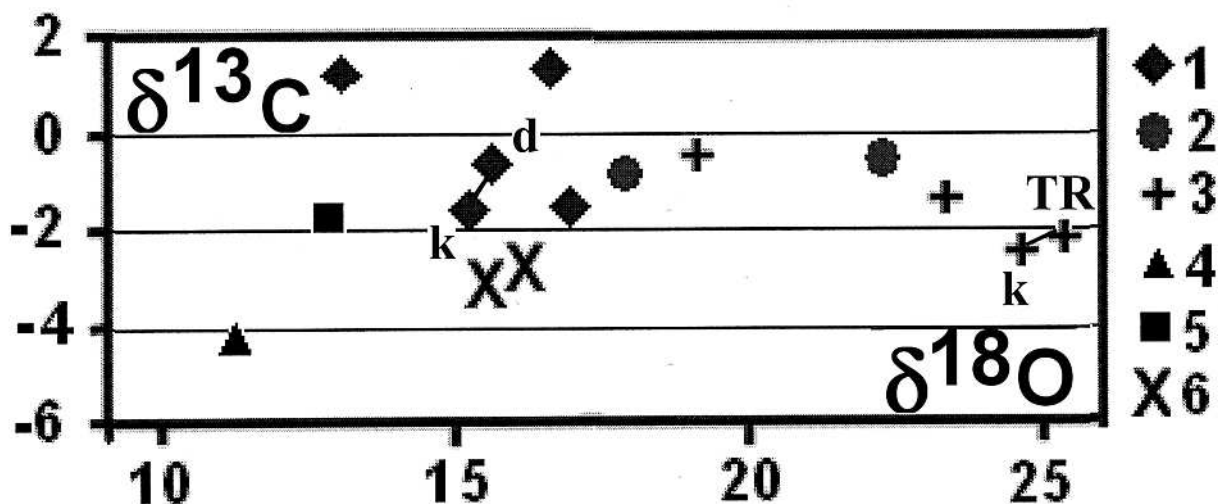


Рис 5. Соотношение изотопов углерода и кислорода в массивах: 1- - Мушугай, 2- Баян- Шушу, 3-Лугингол, 4- Кокшаровский , 5- Бурпала, 6- Дарай-Пиоз.

Линией соединены сосуществующие кальцит (k) - доломит(d), и кальцит (k) - бастнезит (TR).

Массив Лугингол находится в 250 км на ЮЗ от Мушугай-Худука [14] и в 100 км восточнее крупнейшего в мире агпаитового ультраредкометального массива щелочных гранитов Хан-Богдо [1]. Он сложен нефелиновыми и псевдолейцитовыми сиенитами главной фазы массива, в которой встречены ксенолиты полевошпатовых пироксенитов и шонкинитов. Сиениты прорваны дайками псевдолейцитовых сиенитов, псевдолейцитовых тингуаитов и кальцитовых карбонатитов с бастнезитом и синхизитом. Для карбонатитов характерны значения изотопов углерода от  $-1,5$  до  $-2,4$  и очень тяжелые кислород от 23,3 до 25,2. В сосуществующей паре карбонатов кальцит - бастнезит для кальцита характерны более легкие изотопы. В 50 км западнее Лугингола встречены дайки шонкинитов, которые по химическому и минеральному составу аналогичны шонкинитам месторождения TR Маунтин Пасс в США. Тут же встречена дайка доломитовых карбонатитов с бастнезитом (30%) (табл. 1, № Ly-1d). Значения изотопов углерода для этого карбонатита  $-0,3$  и кислорода 19,1.

Кокшаровский массив в Приморье [22] сложен пироксенитами, которые прорываются дайками агпаитовых нефелиновых сиенитов и кальцитовых карбонатитов. Для карбонатитов характерны значения изотопов углерода  $-4,2$  и кислорода 11,2.

Массив Бурпала. Находится в Сев. Прибайкалье, в 100 км на СВ от северной оконечности озера Байкал. Массив сложен нефелиновыми, щелочными и кварцевыми сиенитами, которые прорваны многочисленными дайками редкометальных агпаитовых сиенит-пегматитов [4, 6]. В центральной зоне массива имеется крупное тело апатит-флюотитовых пород с магнетитом и слюдой (флюоритовый аналог фоскоритов). Небольшие карбонатитовые дайки кальцитового состава с бревстеритом встречены в

центре массива и кальцитового состава с кварцем и пиритом во вмещающих породах. В последних определены изотопы углерода и кислорода соответственно  $-1,8$  и  $12,8$ .

Массив Дарай-Пиоз. Он находится в Ю. Таньшане на высоте 5000 м. Массив сложен нефелиновыми, щелочными сиенитами и щелочными гранитами, которые прорываются дайками карбонатитов и редкометальных щелочногранитных пегматитов [3, 4]. Карбонатиты кальцит-пироксенового состава с редкометальной минерализацией. Вариации значений изотопов в карбонатитах следующие. Углерода от  $-2,9$  до  $-3,2$ , и кислорода от  $15,9$  до  $16,3$ . Для редкометального карбонатита характерны более легкие изотопы углерода и кислорода.

### **Карбонатиты рифтовых зон сочленения Сибирской платформы и Алданского щита**

Карбонатитовые комплексы этого района можно разделить на 2 группы. К первой группе относятся комплексы западной и центральной части и ко второй комплексы восточной части Алданского щита [10]. В первую группу входят Мурунский и Билибинский массивы Mz-возраста [4, 2] и Ханинский массив доSt возраста, а во вторую- нижнепалеозойские массивы Арбарастах, Ингили и Горное Озеро [4]. Возможно, что массивы второй группы можно отнести к зоне обрамления Сибирской платформы. Значения изотопов углерода и кислорода приведены в табл. 1 и рис.6.

Мурунский массив. Площадь массива  $150 \text{ км}^2$ , возраст 145 млн.лет. Он относится к вулкано-плутоническим ультракалиевым расслоенным щелочным комплексам [28, 11, 10] Массив сложен расслоенным комплексом Vt-пироксенитов, K-ийолитов, лейцитовых шонкинитов и фергуситов (ранний комплекс) с ксенолитами оливин-шпинели-евых и монтичеллит-мелилитовых пород. Породы главной фазы представлены расслоенным комплексом меланократовых и лейкократовых псевдолейцитовых и щелочных сиенитов и щелочных гранитов. Далее изливались туфолавы и потоки лейцитовых фонолитов и лейцитовых лампроитов и внедрялись дайки лейцитовых тингуаитов и лампроитов. Поздняя фаза представлена расслоенным силикатно-карбонатным комплексом, который сложен микроклинитами, микроклин-пироксеновыми породами, чароитовыми породами, а так же кальцитовыми и бенстонитовыми карбонатитами [11, 12]. Затем все породы подверглись гидротермальному окварцеванию и сульфидизации с многочисленной рудной минерализацией. Нами выделено 5 типов карбонатитов и надинтрузивная зона кальцит-к-рихтерит-тетраферрифлогопитовых пород [4]. Вариации значений изотопов углерода от  $-5,2$  до  $-8,1$ , и кислорода от  $7,9$  до  $10,4$ . Наиболее легкие изотопы кислорода характерны для ранних кальцитовых и бенстонитовых карбонатитов, притов в кальцитовых карбонатитах углерод более легкий. Для остальных типов карбонатитов характерны близкие значения изотопов кисло-

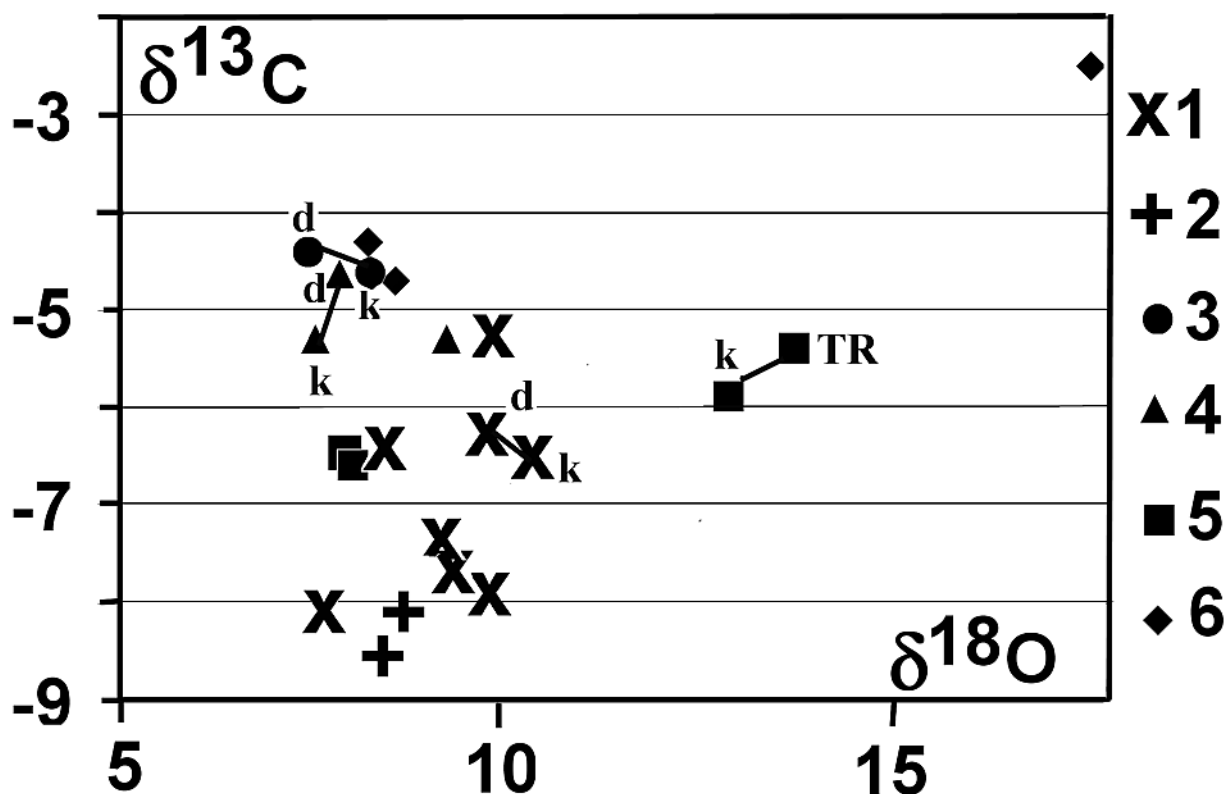


Рис 6. Соотношение изотопов углерода и кислорода в массивах: 1- Мурун, 11- Хани, 12- Билибинский, 13-Арбарастах, 14- Ингили, 15- Горное озеро.

Линией соединены сосуществующие кальцит (k) - доломит (d), и кальцит (k) - бастнезит (TR).

рода от 9,4 до 10,4 но разные изотопы углерода. Более легкий углерод встречен в силикатно-карбонатных кальцит-чароитовых и кварц-кальцитовых карбонатах, а наиболее тяжелый углерод в слюдосодержащих разновидностях карбонатов. В кальцит-доломитовых парах для преобладающего по массе кальцита характерен более легкий углерод и более тяжелый кислород.

Массив Билибинский. Площадь массива 150 км<sup>2</sup>. Он относится к Клейцитовому комплексу пород [2, 4]. Массив сложен расслоенным комплексом слюдястых перидотитов, слюдястых пироксенитов, оливин-лейцитовых лампроитов и лейцитовых фергуситов. Далее кристаллизовались шонкиниты, лейцитовые и щелочные сиениты, кварцевые сиениты и щелочные граниты. Вторая группа пород имеет постипенные переходы. В массиве наблюдается уникальная дифференциация от ультраосновных пород до гранитов [4]. В районе ультраосновных пород обнаружена небольшая глыба апатит-кальцитовых карбонатов. Не исключена возможность, что глыба была привезена с находящегося в 100 км к востоку Арбарастахского массива. В кальцитовом карбонате обнаружена и фаза доломита. Как обычно для доломита характерен более тяжелый углерод и более легкий кислород чем для кальцита.

Массив Хани (участок Укдуска) Массив сложен апатит-биотитовыми пироксенитами, шонкинитами, сиенитами и гранитами. Пироксениты секутся дайкой расслоенных сиенит-карбонатитов (кальцитовых) и дайкой оливиновых лампроитов. [4]. Для карбонатитов характерны значения изотопов углерода  $-8,0$  –  $-8,4$  и кислорода  $8,5$  –  $8,6$ .

Массив Арбарастах. Площадь массива  $42 \text{ км}^2$ . Главная фаза массива сложена пироксенитами с участками биотитовых пироксенитов. Весь массив рассечен кольцевыми дайками карбонатитов и в меньшем количестве канкренитовых и щелочных сиенитов. Центр массива сложен фоскоритами (апатит-магнетит-форстерит-кальцитовыми породами) [4]. Для кальцитовых карбонатитов характерны близкие значения изотопов углерода и вариации кислорода  $7,6$ - $9,3$ . Для кальцит-доломитовой пары в доломите более тяжелый углерод.

Массив Ингили. Площадь массива  $20 \text{ км}^2$ . Массив сложен амфибол-пироксеновыми породами и биотитовыми пироксенитами, которые секутся дайками ийолитов, сиенитов и кальцитовых карбонатитов с амфиболом и слюдой. Авторами использованы материалы керна скважин для уточнения схемы магматизма массива [4]. За контактом массива известны диатремы, сложенные базальтоидными породами (ингилитами) с многочисленными верхнекоровыми ксенолитами. Для кальцитовых карбонатитов с амфиболом и слюдой характерны близкие значения изотопов. В более позднем по времени внедрения прожилке кальцит-флюоритового карбонатита с TR-карбонатом отмечается более тяжелый кислород, притом в TR-карбонате более тяжелый и углерод и кислород, чем в кальците.

Массив Горное Озеро. Площадь массива  $9,3 \text{ км}^2$ . массив расположен в Сэтэ-Даван-ской щелочной провинции [22]. Он сложен пироксенитами, ийолитами, сиенитами, магнетит-форстеритовыми породами и карбонатитами (кальцитовыми и редкоземельными). Значения изотопов кислорода и углерода в кальцит-доломитовой паре почти одинаковые (углерод  $-4,4$  и  $-4,7$ , а кислород  $8,3$  и  $8,5$ ). Крупные выделения редкоземельного карбоната испытали структурный распад на бербанкит и др. минералы, вероятно, поэтому для него характерен намного более тяжелый кислород и углерод, чем в кальците и доломите карбонатитов.

В целом можно отметить, что значения изотопов кислорода и углерода в карбонатитах, образовавшихся в разных геодинамических обстановках значительно различаются, что будет обсуждаться ниже.

### **Связь изотопии углерода и кислорода с геодинамическим положением массивов и типом мантии, из которой образовались магмы щелочных массивов**

Как известно, тип родоначальной для массивов мантии определяется по соотношениям изотопов Sr и Nd. На рис. 7 приведены данные по изотопии кислорода и углерода [21, 24, 27] интрузивных, вулканогенных и др. карбона-

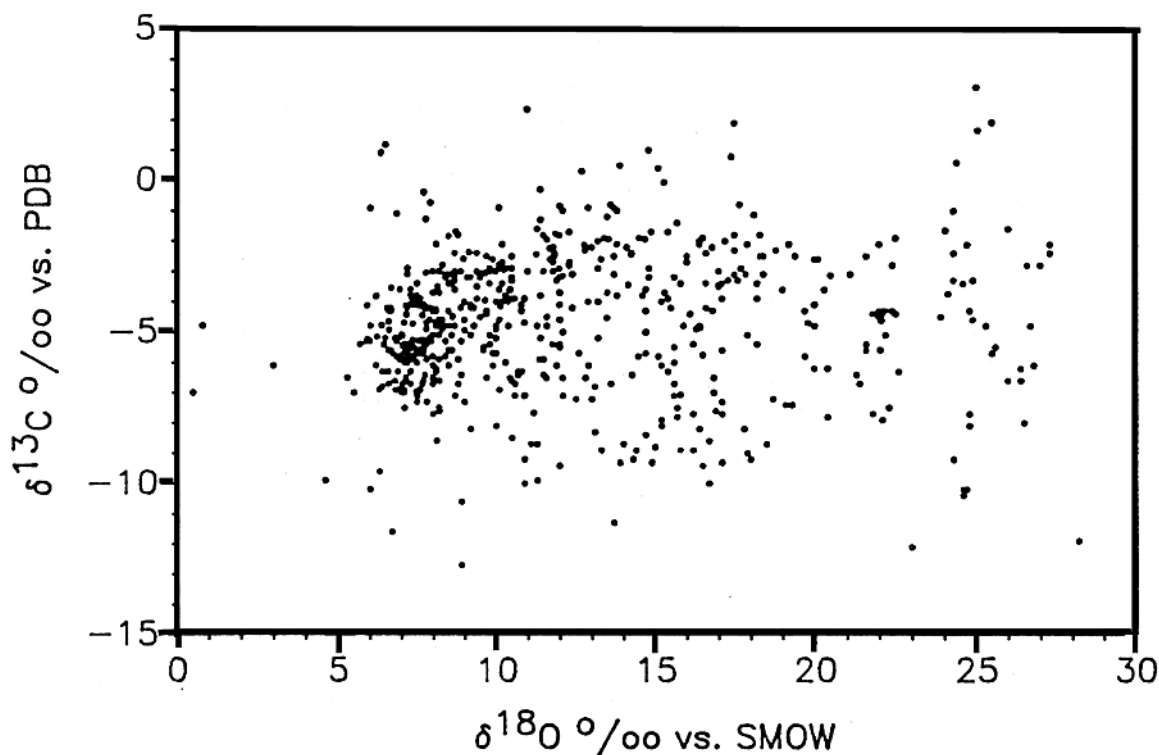


Рис. 7. Соотношение изотопов углерода и кислорода в карбонатах мира [21].

титов мира. Видны большие вариации изотопов, которые связаны с очень многими геологическими и физическими факторами. Мы попытались систематизировать наши данные по карбонатам Сибири и Монголии. Для большого количества проб карбонатов из табл. 1 у нас имеются данные по изотопии Sr и Nd. По ним определен тип мантии, из которой образовались магмы этих щелочных комплексов [4, 6, 8, 25, 26]. Исходя из геологического положения изученных массивов и геодинамической ситуации этих территорий [18, 19] мы пришли к интересному выводу [4]. Для различных геодинамических обстановок образования щелочных пород характерны различные типы мантии (рис. 8) [4, 8, 10]. Так массивы, находящиеся в районах обрамления Сибирской платформы, где имели место субдукционные процессы, образовались из деплитированной мантии. Массивы складчатых поясов (районов завершенной складчатости) имеют изотопные метки обогащенной мантии EM-2. Массивы, образовавшиеся в рифтовых зонах между Сибирской платформой и Алданским щитом (а так же между Североамериканской платформой и Канадским щитом) имеют изотопные метки наиболее глубокой обогащенной мантии EM-1 [4]. Мы попытались перенести данные типа мантии, полученные из диаграммы соотношения изотопов Sr и Nd (рис. 8) для тех же проб на график соотношения изотопов углерода и кислорода. Получилась довольно компактная картина разделения массивов по типам мантии (рис. 9).

В поле 3 попали точки соотношения изотопов из карбонатов массивов

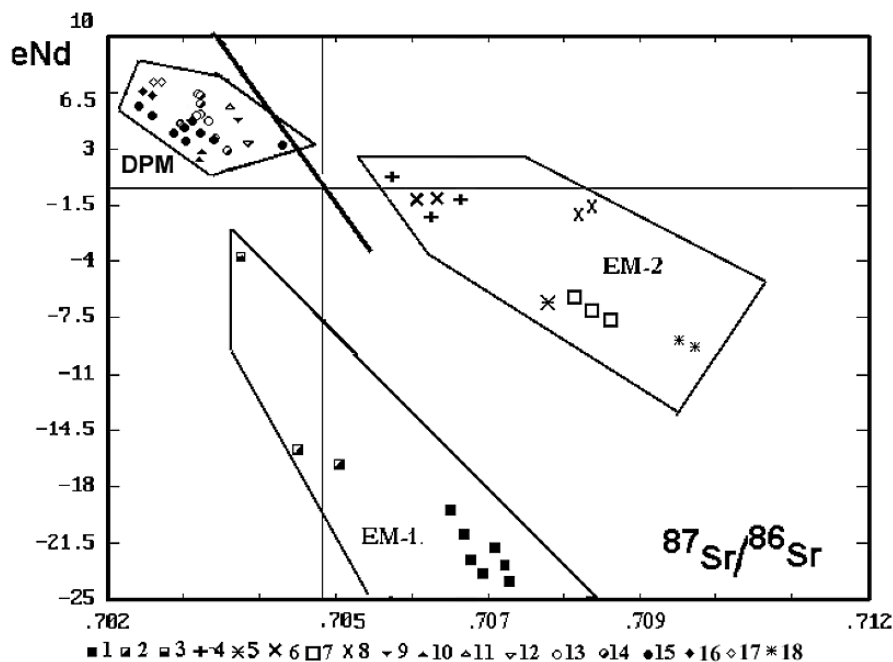


Рис. 8. Соотношение изотопов Sr-Nd.

Массивы: 1- Мурун, 2- Хани, 3- Билибинский, 4-Мушугай, 5-Бурпала 6-Баян-Хушу, 7- Дарай-Пиоз, 8-Лугингол, 9- Горное Озеро, 10- Жидой, 11-Кокшаровский, 12-Кия, 13- Гули, 14- массивы Кольского п-ва, 15- Саянские массивы, 16- Ингили, 17, Арбарастах. 18-DPM-деплетированная мантия.

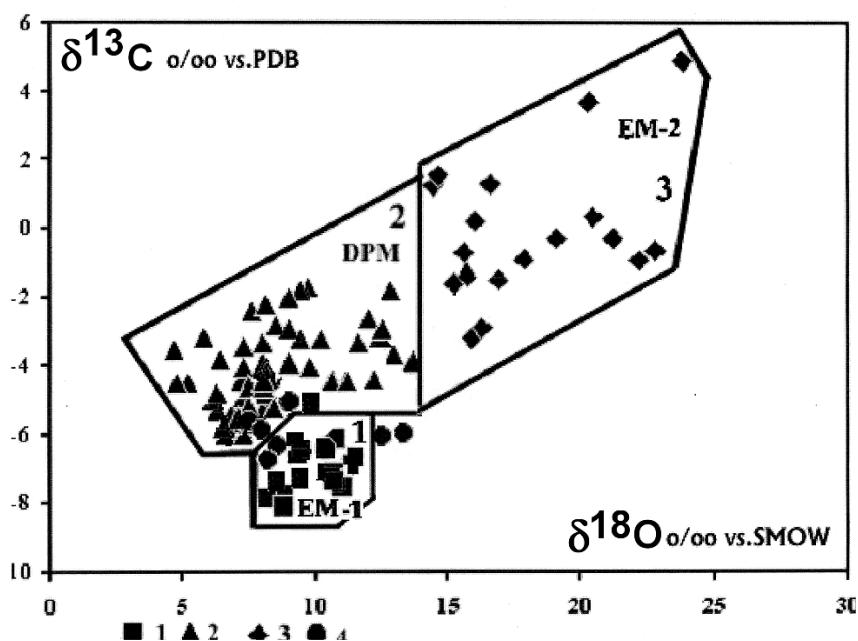


Рис. 9. Соотношения изотопов кислорода - углерода и типы мантии.

Поле 1- мантия EM-1, поле 2- деплетированная мантия, поле 3 - мантия EM-2. Точки пород массивов: 1-Мурун, Хани, 2- Билибинский, Ингили, Арбарастах, 3 - массивы обрамления Сибирской платформы, 4- массивы складчатых областей.

районов завершённой складчатости (Монголия, Бурятия, Сев. Прибайкалье, Ю.Тяньшань и др.). Их первичные магмы образовались из обогащенной

мантии EM-2. Ранее изотопные метки в поле 3 для карбонатитов объяснялось захватом при их образовании атмосферного кислорода и поверхностных вод [20]. Для изученных карбонатитов этот механизм может действовать, но как вторичный. При образовании пород зон завершённой складчатости захватывались поверхностные воды и эти породы имели повышенные значения тяжелого кислорода. Когда эти породы опускались по зонам Бенюфа на значительные глубины мантии то смешивались опущенные коровые породы с мантийным материалом и в этой смешанной мантии изменялись изотопные метки мантии по углероду и кислороду. И когда из этой мантии выплавились магмы щелочных пород, то они уже имели эти новые метки изотопов. Так что более тяжелый кислород для этих щелочных магм не является доказательством их контаминации коровым материалом во время внедрения и кристаллизации магмы, как считает [20], так как в таком случае будут смешиваться все элементы, а не только изотопы (чего не наблюдается в природе), это результат... выплавления магм щелочных пород из уже контаминированной мантии.

В поле 2 попали точки карбонатитов массивов района обрамления Сибирской платформы, где действовали субдукционные процессы. Для них характерна деплитированная мантия.

И в поле 1 попали точки карбонатитов массивов, образовавшихся в рифтовых зонах между Алданским щитом и Сибирской платформой или на самом щите. Такая характеристика изотопов характерна как для ультракалиевых комплексов Алданского щита Mz- возраста (массивы Мурун и др), так и для докембрийских K-массивов (массив Хани). Выплавление магм этих массивов связано с плюмовыми процессами, действующими в Азиатском континенте в это время [18,19]. Изотопные метки более древних массивов Зап. Алдана (Арбарастах, Ингили и Горное Озеро) расположены на границе поля 1 и 2. Вероятно, такое их положение связано с отсутствием наших знаний о геодинамической обстановке этих районов в докембрии или с близостью их географического положения к окраине платформы с деплитированным типом мантии.

Исходя из вышесказанного, правомерно применять предложенную диаграмму для определения типа мантии для карбонатитов хотя бы Азиатского континента. Так как анализ изотопов кислорода и углерода намного дешевле и проще анализа изотопов Sr и Nd, вероятно применение этой диаграммы имеет смысл. Однако для новых (недавно открытых) районов карбонатитового магматизма необходимо подтверждать правильность определения типа мантии и данными по изотопии Sr и Nd.

## **Выводы**

1. Рассмотрены значения изотопов углерода и кислорода и их соотношения в карбонатитах Сибири и Монголии, образовавшихся в разных геодинамических обстановках.



2. Рассмотрены соотношения значений изотопов кислорода и углерода в сосуществующих парах кальцит-доломит, кальцит- TR-F-карбонат и доломит- TR-F-карбонат.

3. На основе эмпирических данных по типу мантии, определенных в тех же пробах по соотношению изотопов Sr и Nd , предложена диаграмма определения типа мантии по соотношению изотопов углерода и кислорода для карбонатитов.

*Работа проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ 03-05-64146 и интеграционных проектов: СО РАН № 67 и РАН № 6-2-1.*

## **Литература**

1. **Владыкин Н.В., Коваленко В.И., Дорфман М.Д.** (1981) Минералогические и геохимические особенности Хан-Богдинского массива щелочных гранитов // Наука, с. 1-135
2. **Владыкин Н.В.** (1996) Билибинский массив-раслоенный высоко дифференцированный комплекс К-ультраосновных-щелочных пород // ДАН, т.349, №6, с.972-975.
3. **Владыкин Н.В., Дусматов В.Д.** (1996) Химический состав слюд массива Дарай-Пиоз // ЗВМО, N 3, с.84-94.
4. **Владыкин Н.В.** (1997) Петрология и рудоносность К-щелочных пород Монголо-Охотского ареала магматизма. (Диссертация в форме научного доклада), Иркутск, с.1-80.
5. **Владыкин Н.В.** (1999), Рудоносные туфы и вулканы карбонатитового комплекса Мушугай-Худук, Гоби, Монголия. // Известия вузов Сибири, в. 4-5, с.84-86.
6. **Владыкин Н.В., Морикио Т.** (1999) Геохимия изотопов в карбонатитах Сибири // 100-летие изучения карбонатитов Кольского п-ва., С.-Петербург с.45-47
7. **Владыкин Н.В., Морикио Т., Токана К.** (1999) Новые данные о Жидойском массиве ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов // Геология и металогения докембрия юга Сибири. Иркутск. С.25-27.
8. **Владыкин Н.В., Морикио Т.** (2000) Sr-Nd систематика карбонатитов Сибири и Монголии // Геохимия магматических пород, тез. докл.: Москва 2000., с. 34-35.
9. **Владыкин Н.В.** (2001) Рудоносность карбонатитовых туфов К-щелочных комплексов Сибири и Монголии. // 100-летие изучения карбонатитов Кольского п-ва., С.-Петербург с.49-51.
10. **Владыкин Н.В.** (2001) Алданская провинция К-щелочных пород и карбонатитов: вопросы магматизма, генезиса и мантийных источников // Щелочной магматизм и проблемы мантийных источников. Иркутск. с. 18-45
11. **Владыкин Н.В., Царук И.И.** (2003) Геология, химизм и генезис Ba-Sr («бенстонитовых») карбонатитов Мурунского массива // Геология и геофизика, том 44, № 4, с.325-339
12. **Владыкин Н.В., Виладкар Ш.С., Миузаки Т., Мохан Р.В.** (2003) Химическая характеристика карбонатитов Ю.Индии (провинция Тамил Наду) и проблема Ba-Sr «бенстинитовых карбонатитов // Плюмы и глубинные источники щелочного магматизма, Иркутск, С.20-45.
13. **Егоров Л.С.** " Ийолит-карбонатитовый плутонизм", Недра 1991.-260 с.
14. **Коваленко В.И., Владыкин Н.В., Горегляд А.В., Смирнов В.Н.** (1974) Лугингольский массив псевдолейцитовых сиенитов в МНР // Изв. АН СССР, сер.геологич.№8, с.38-49

15. **Коваленко В.И., Владыкин Н.В., Горегляд А.В.** (1977) Восточная Монголия-новая провинция редкометальной минерализации // Геология и магматизм Монголии, в.22.Наука.,1977с.189-205.
16. **Коваленко В.И., Самойлов В.С., Владыкин Н.В., Горегляд А.В., Макагон Л.Д.** (1977) Геохимическая характеристика пород приповерхностного карбонатитового комплекса в пустыне Гоби // Геохимия, №9, с.1313-1326.
17. **Коваленко В.И., Самойлов В.С., Владыкин Н.В. и др.** (1979) Редкометальные карбонатиты и апатит-магнетитовые породы Монголии//Геология и магматизм Монголии. В.30, изд.Наука, с.158-167
18. **Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Владыкин Н.В., и др.** (2002) Эпохи формирования, геодинамическое положение и источники редкометального магматизма Центральной Азии // Петрология, т.10.№ 3. С.227-253.
19. **Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Владыкин Н.В., и др.** (2002) Источники редкометального магматизма Центральной Азии и проблема плюмов// Глубинный магматизм, мантийные источники и проблема плюмов. Иркутск, , с.25-42.
20. **Покровский Б.Г.** (2000) Корова contamination мантийных магм по данным изотопной геохимии.//М.Наука, 228с
21. **Deines P.** (1989) Stable isotope variations in carbonatites //Carbonatites. Genesis and Evolution (Edited by Keith Bell). London. pp 301-359.
22. **Kogarko L.N., Kononova V.A., Orlova M.P., Wooley A.R.** "Alkaline Rocks and Carbonatites of the World", London, Glasgow, New York, Melbourne, Madras.
23. **Koyama, M. and Matsushita, R.** (1980) Use of neutron spectrum sensitive motions for Instrumental neutron activation analysis. Bull.Inst.Chem.Res., Kyoto Univ., vol.58, 235-243.
24. **McCrea, J.M.** (1950) On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale// Jour. Chem. Phys., vol.18, 849-857.
25. **Morikiyo T.,Miyazaki T.,Kagami H.,Vladykin N.V.** (1998) Sr,Nd,C and O isotope characteristics of Siberian carbonatites//Chinese Science Bulletin, China. S.90-92.
26. **Morikiyo T., Tokana K., Miyazaki T., Kagami H., Vladykin N.V.** (2000) Sr, Nd, C and O isotopic compositions of carbonatite and peralkaline silicate rocks from the Zhidoy complex, Russia: evidence for binary mixing, liquid immiscibility and a heterogeneous depleted mantle source region. // Journal of Mineralogical and Petrological, 2000, v. 95, pp. 162-172.
27. **Sharma, T. and Clayton, R.N.** (1965) Measurement of  $O^{18}/O^{16}$  ratios of total oxygen of carbonates. Geochim. Cosmochim. Acta, vol.29, 1347-1353.
28. **Vladykin N.V.** (2000) Malyi Murun Volcano-Plutonic Complex: An Example of differentiated Mantle Magmas of Lamproitic Type // Geochemistry International, 2000, v. 38, suppl. 1, pp. 573-583.