

Rb-Sr И Sm-Nd ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ КАК ИНДИКАТОРЫ ИСТОЧНИКОВ ВЕЩЕСТВА ЩЕЛОЧНОГО КАРБОНАТИТОВОГО МАГМАТИЗМА (НА ПРИМЕРЕ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО УРАЛА И СРЕДНЕГО ТИМАНА)

© 2017 г. И. Л. Недосекова

ВВЕДЕНИЕ

Для карбонатитовых комплексов щелочно-ультраосновной формации (УЩК), которые развиты на щитах и обрамлении платформ, в настоящее время достаточно глубоко разработаны петрологические и изотопно-геохимические модели формирования, позволяющие интерпретировать их происхождение и источники вещества [Bell, Blenkinsop, 1989; Bell, Petersen, 1991; Kramm, 1993; Kramm, Kogarko, 1994; Zaitsev, Bell, 1995; Dunworth, Bell, 2001; Bell, Rukhlov, 2004; Kogarko et al., 2010]. По данным изотопных исследований можно предположить, что происхождение этих комплексов и карбонатитов связано с глубинным мантийным источником, возможно, с мантийными плюмами (НИМУ, FOZO) и смешением плюмового компонента с обогащенным компонентом EM1 [Bell, Blenkinsop, 1989; Kramm, 1993; Bell, 2001; Dunworth, Bell, 2001].

Для карбонатитовых комплексов складчатых зон, которые известны на Урале, Тимане, в Алтае-Саянской, Тянь-Шанской, Гималайской складчатых областях, в частности для карбонатитовых комплексов линейного типа (Ильмено-Вишневогорский комплекс, Урал), до настоящего времени остаются актуальными вопросы их генетического соотношения с платформенными карбонатитовыми комплексами щелочно-ультраосновной и щелочно-габброидной формаций, а также источников расплавов и времени и места их генерации.

С целью изучения источников вещества карбонатитовых комплексов Уральской и Тиманской складчатых областей нами проведены исследования Rb-Sr и Sm-Nd изотопных систем в породах и минералах Ильмено-Вишневогорского миаскит-карбонатитового и Булдымского ультрабазит-карбонатитового комплексов Южного Урала [Недосекова и др., 2009; Недосекова, 2012; Недосекова, Беляцкий, 2012; Nedosekova et al., 2013], а также Четласского комплекса дайковых щелочных ультрабазитов и карбонатитов Среднего Тимана [Недосекова и др., 2013]. На основе этих исследований проведено сопоставление полученных изотопных данных с таковыми для комплексов основных фор-

мационных типов щелочно-карбонатитового магматизма: а) с карбонатитовыми комплексами Нащелочно-ультраосновной формации, локализованных на кратонах и в обрамлениях платформ, – на примере комплексов Карело-Кольской провинции (Балтийский щит), Маймечя-Котуйской, Восточно-Саянской, Восточно-Алданской, Сетте-Дабанской провинций (Сибирская платформа и ее обрамление), а также комплексов Восточно-Африканской провинции; б) с К-щелочными комплексами рифтовых зон щитов (на примере комплексов Алданского щита); в) с карбонатитовыми комплексами складчатых зон (на примере Алтае-Саянской, Южно-Тянь-Шанской, Гималайской складчатых областей).

Геологическое строение Ильмено-Вишневогорского и Булдымского комплексов (Южный Урал)

Ильмено-Вишневогорский карбонатит-сиенит-миаскитовый и Булдымский карбонатит-ультрабазитовый комплексы находятся на стыке Среднего и Южного Урала и приурочены к осевой части Сысертско-Ильменогорского антиклинория, который представляет собой докембрийский блок фундамента, залегающий среди уральских палеозойских палеоокеанических комплексов [Пучков, 2010].

Ильмено-Вишневогорский комплекс включает два относительно крупных (20–25 × 6 км) интрузивных массива миаскитов – Вишневогорский и Ильменогорский, многочисленны пластовые и дайковые тела миаскитов, сиенитов и миаскит-пегматитов, пластовые и жильные тела карбонатитов, а также метасоматические зоны фенитизации во вмещающих породах вишневогорской и ильменогорской свит (PR1). Массивы миаскитов соединяются между собой Центральной щелочной полосой (ЦЩП), сложенной фенитами, полевошпатовыми метасоматитами, мелкими телами миаскитов, сиенитов, меланократовыми карбонатно-силикатными породами и карбонатитами. Карбонатиты с редкометалльной минерализацией залегают в апикальной части Вишневогорского интрузива миаскитов, в породах ЦЩП, а также встречаются в экзоконтактовом ореоле миаскитовых ин-

трузий [Левин и др., 1997; Недосекова и др., 2009; Nedosekova et al., 2013].

Булдымский карбонатит-ультрабазитовый комплекс представлен Булдымским, Спирихинским, Халдихинским и другими массивами ультрабазитов, залегающими в докембрийских породах вишневогорской и ильменогорской свит (PR1), в обрамлении Вишневогорского и Ильменогорского миаскитовых интрузивов. Карбонатиты (доломит-кальцитовые сёвиты III и бефорситы) в массивах ультрабазитов образуют жильные тела протяженностью в сотни метров, сопровождающиеся мощными зонами карбонат-флогопит-рихтеритовых, флогопит-рихтеритовых и флогопитовых метасоматитов с редкометалльно-редкоземельной минерализацией [Левин и др., 1997; Недосекова, 2007].

В Ильмено-Вишневогорском комплексе нами исследованы изотопные составы Sr и Nd валовых проб миаскитов (обр. 324, 338, Дол-2 – апикальная часть Вишневогорского массива; По-1 – ЦЩП); сиенита (обр. 330, Зона 125, Вишневогорский массив); кальцитов и ранних и поздних карбонатитов (обр. 329 – сёвит I, обр. 331 – сёвит II, апикальная часть Вишневогорского массива; обр. 354 – сёвит I, корневая часть Вишневогорского массива; обр. 140-1 – сёвит II, Зона 140, Вишневогорский массив; обр. Л-По-1 – сёвит I, Л-По-2 – сёвит II, ЦЩП); фенита (обр. 330-2) – северный экзоконтакт Вишневогорского массива. В Булдымском массиве были исследованы Sm-Nd и Rb-Sr изотопные характеристики валовых составов перидотита (обр. 44-3332), оливинита (обр. 505-27), рихтеритовых оливинитов (обр. 503-27, 15-22); кальцитов и доломитов карбонатитов (обр. 3311, 915 – доломит-кальцитовые сёвиты III; обр. 10-21; 1-54 – бефорситы). Детальное описание образцов, химические и микропримесные составы пород приведены в работах [Прибавкин, Недосекова, 2006; Недосекова, 2007, 2012; Недосекова и др., 2009].

Геологическое строение Четласского комплекса (Средний Тиман)

Четласский комплекс дайковых щелочных базит-ультрабазитов, фенитов и карбонатитов находится на Среднем Тимане, занимая площадь около 1000 км², в юго-восточной части Четласского камня, представляющего собой выступ рифейских пород в области перикратонного прогиба Русской платформы. Дайковые тела ультрабазитов залегают в терригенных и терригенно-карбонатных породах четласской свиты (Rf₂) и быстринской серии (Rf₃), трассируя разломы северо-восточного простирания и образуя дайковые поля. Породы Четласского комплекса представлены пикрит-лампрофировыми сериями с калиевым типом щелочности (от умеренно щелочных до щелочных разностей пород). Карбонатиты и сопровождающие их щелочные метасоматиты с редкометалльно-редкоземельной минерализа-

цией локализованы в тех же, что и дайковые ультрабазиты, тектонических зонах, слагая жилородные тела, штокверки и зоны карбонатизации в раздувах и зальбандах дайковых тел ультрабазитов [Костюхин, Степаненко, 1987].

В Четласском комплексе проведены исследования изотопных составов Sr и Nd валовых проб лампрофиров ряда керсантит-спессартит (обр. 1284), Т-450, 1270-10, а также составов карбонатов и апатита карбонатитов (1374, 1385-5, 1387-2). Детальное описание образцов, химические состав и состав микропримесей исследованных пород приведены в работах [Недосекова и др., 2011, 2013].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение изотопного состава и концентраций Sr и Nd в карбонатах карбонатитов Ильмено-Вишневогорского и Булдымского комплексов (Южный Урал) было выполнено в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) на семи-канальном масс-спектрометре “Finnigan MAT-262” (RPQ) в статическом режиме. Методики определения изотопного состава Sr и Nd детально описаны в работе [Недосекова и др., 2009].

Измерение изотопного состава Sr и Nd валовых проб пород (миаскитов, сиенитов, фенитов) Ильмено-Вишневогорского и ультрабазитов (оливинитов и перидотитов) Булдымского комплексов, а также вмещающих пород вишневогорской и ильменогорской свит (Южный Урал) было проведено в ГИ КНЦ РАН (г. Апатиты). Измерения проводились на семи-канальном масс-спектрометре “Finnigan MAT262” (RPQ) в статическом режиме. Методики определения изотопного состава Sr и Nd детально описаны в работах [Баянова, 2004; Недосекова и др., 2009].

Определение изотопного состава Sr и Nd в карбонатитах и породах Четласского комплекса (Средний Тиман) было выполнено в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления с использованием аналитического комплекса на базе TIMS Triton Plus. Были исследованы изотопные составы Sr и Nd в карбонатах и апатитах из карбонатитов Четласского комплекса. Кроме того, было проведено изучение изотопного состава Sr и Nd в валовых пробах пород (лампрофиров, пикритах, а также в кислотных вытяжках из карбонатсодержащих лампрофиров) [Недосекова и др., 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные

Результаты исследований Rb-Sr и Sm-Nd изотопных составов пород и минералов карбонатитовых комплексов Уральской и Тиманской складчатых областей приведены в табл. 1 и на рис. 1. Для

пород карбонатитовых комплексов Урала получены следующие изотопные параметры: а) для Ильмено-Вишневогорского карбонатит-миаскитового комплекса начальные изотопные отношения составляли $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{440} = 0.70336-0.70380$, $\epsilon\text{Nd}_{440} (+1.9...+5.8)$; б) для Булдымского карбонатит-ультрабазитового комплекса – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{440} = 0.70455-0.70513$, $\epsilon\text{Nd}_{440} (-2.8...+0.7)$ (см. табл. 1) [Недосекова, 2007, 2012; Недосекова и др., 2009; Nedosekova et al., 2013].

Начальные изотопные отношения карбонатитовых комплексов Урала соответствуют умеренно-деплементированным (Ильмено-Вишневогорский карбонатит-миаскитовый комплекс) и умеренно-обогащенным типа EM1 (Булдымский карбонатит-ультрабазитовый комплекс) мантийным составам. Аналогичные изотопные составы и линии развития изотопных систем имеют карбонатитовые комплексы щелочно-ультраосновной формации, которые локализованы в краевых частях платформ и докембрийских кратонах (см. рис. 1а).

Так, на диаграмме $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\epsilon\text{Nd}$ точки составов пород миаскит-карбонатитового комплекса ИВК находятся в пределах мантийного тренда, на линии, соединяющей деплементированную (DM) и обогащенную мантию типа EM1. Аналогичная линия развития изотопных систем характерна для карбонатитовых комплексов Карело-Кольской провинции, показывая смешение двух мантийных резервуаров FOZO и EM1 при магмогенерации [Kramm, 1993; Kogarko et al., 2010]. Близкие изотопные составы также имеют карбонатитовые комплексы обрамления Сибирской платформы (Маймеча-Котуйская, Восточно-Алданская провинции) [Владыкин, 2005].

Sr-Nd изотопные составы карбонатитов Булдымского массива соответствуют обогащенным мантийным составам типа EM1 и аналогичны изотопным составам карбонатитовых комплексов рифтовых зон щитов с наиболее глубинными мантийными источниками (комплексы Восточно-Африканского рифта, Алданского щита и Ангарского поднятия, Восточной Сибири), в формировании которых предполагается возможность участия плюмового HIMU-компонента [Bell, Petersen, 1991].

Необходимо также отметить, что **Sr-Nd изотопные составы пород ИВК** отличаются от таковых коллизионных карбонатитовых комплексов складчатых областей, известных на Тянь-Шане, в Алтае-Саянской складчатой области, Гималаях и Монголии [Владыкин, 2005; Врублевский, Гертнер, 2005; Hou et al., 2006], которые обычно контаминированы коровыми компонентами и обогащены радиогенными изотопами Sr и нерадигенными изотопами Nd) (см. рис. 1а).

Для оценки степени контаминации мантийных магм карбонатитовых комплексов Урала коровыми компонентами проведены расчеты **Nd-Sr изотопных линий смешения мантийного источника DM с**

нижнекоровыми [Kempton et al., 1990] и верхнекоровыми составами (вмещающими для ИВК гнейсы вишневогорской свиты) (см. табл. 1). Расчет осуществлен по уравнению смешения изотопных отношений Sr и Nd с учетом концентраций элементов в мантийном и коровом компонентах [Фор, 1989]. Результаты показали возможность присутствия в изотопных составах ИВК незначительных количеств компонентов нижней коры (<5%) (см. рис. 1а).

Изотопные Rb-Sr, Sm-Nd исследования Четласского комплекса дайковых щелочных ультрабазитов и карбонатитов (Средий Тиман) показали, что карбонатиты рассматриваемого комплекса имеют начальные изотопные составы ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.70336-0.70369$, $\epsilon\text{Nd} = 5.07-5.71$), близкие составам неизменных лампрофиров и пикритов ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.7037-0.7043$, $\epsilon\text{Nd} = 5.42-6.19$), значительно отличаюсь при этом от лампрофиров, претерпевших посткристаллизационные гидротермально-метасоматические изменения и имеющих более радиогенный состав стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.711$) [Брянчанинова и др., 2010; Макеев и др., 2009]. Эти изотопные данные свидетельствуют о едином мантийном источнике вещества карбонатитов и лампрофиров Четласского комплекса с незначительной добавкой корового компонента (вероятно, метаморфогенного флюида). Источником корового флюида могли являться рифейские вмещающие карбонатно-осадочные толщи быстринской серии, имеющие существенно радиогенный изотопный состав Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.7138$). Расчет **Nd-Sr изотопных линий смешения мантийного источника пород Четласского комплекса с докембрийскими морскими осадочно-карбонатными породами быстринской серии** показал, что в карбонатитах Четласского комплекса мантийный компонент составляет более 95%, а верхнекоровый – менее 5% (см. рис. 1б).

ВЫВОДЫ

1. Изотопно-геохимическими исследованиями линейных карбонатитовых комплексов Уральской складчатой области установлен единый глубинный источник вещества карбонатитов и щелочных пород, имеющий умеренно-деплементированные изотопные характеристики (вероятно, результат смешения деплементированной мантии с нижнекоровым и (или) плюмовым компонентом). Наблюдаемые вариации изотопных составов могут быть связаны со смешением в источнике плавления и многостадийностью магмо- и рудообразования, характеризующегося поступлением новых порций расплава с различающимися изотопными составами как на магматической, так и на постколлизионной метаморфической стадии становления массивов.

2. **Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные также свидетельствуют о мантийном источнике вещества пород Четласского комплекса дайковых ультрабазитов**

Таблица 1. Sm-Nd- и Rb-Sr-изотопные данные для представительных проб пород и минералов карбонатитовых комплексов Южного Урала (Ильмено-Вишневогорский и Булдымский комплексы) и Среднего Тимана (Четласский комплекс)

№ п/п	Обр.	Порода	Минерал	Местоположение	Rb, г/т	Sr, г/т	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\text{T})$	$\epsilon_{\text{Sr}}(\text{T})$	Sm, г/т	Nd, г/т	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(\text{T})$	$\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$
<i>Ильмено-Вишневогорский карбонатит-миаскитовый комплекс (Южный Урал)</i>														
1	330-1	Сиенит	–	Вишневогорский м-в	105	383	0.70338	-8.6	18.0	133	0.08211	0.512609	0.512372	5.90
2	338	Миаскит	–	Вишневогорский м-в	79	2095	0.70341	-8.2	3.9	27	0.08635	0.512569	0.512320	4.90
3	По-1	Миаскит	–	ЦЩЦ, Потанино	157	2791	0.70380	-8.5	13.8	94	0.08839	0.512511	0.512256	3.60
4	Л-По-1	Сёвит I	Кальцит	ЦЩЦ, Потанино	0.06	12231	0.70371	-8.5	50.1	328	0.09232	0.512584	0.512318	4.80
5	331К	Сёвит II	Кальцит	Вишневогорский м-в	–	21982	0.70359	-5.6	58.3	385	0.09160	0.512507	0.512243	3.40
6	330-2	Фенит	–	Экзоконтакт, зона 125	–	–	–	–	14.8	109	0.08243	0.511564	0.511326	-14.5
<i>Булдымский карбонатит-ультрабазитовый комплекс (Южный Урал)</i>														
7	44-3332	Перидотит	–	Булдымский массив	2.27	309	0.70497	12.1	0.35	2.10	0.10014	0.512310	0.512021	-0.97
8	505-27	Оливинит	–	Булдымский массив	3.52	21.2	0.70513	16.3	0.37	1.40	0.16207	0.512495	0.512028	-0.16
9	3311К	Сёвит III	Кальцит	Булдымский массив	–	8373	0.70455	8.0	52.1	391	0.08048	0.512172	0.511940	-2.60
10	3311Д	Сёвит III	Доломит	Булдымский массив	–	–	0.70455	8.0	8.10	64	0.07611	0.512166	0.511947	-2.40
11	915К	Сёвит III	Кальцит	Булдымский массив	–	10279	0.70440	5.9	39.3	292	0.08138	0.512164	0.511929	-2.80
12	154Д	Бефорсит IV	Доломит	Булдымский массив	–	9097	0.70447	6.9	24.5	181	0.08150	0.512292	0.512057	-0.30
<i>Вмецающие метаморфические породы вишневогорской и ильменогорской свит, PR₁ (Южный Урал)</i>														
13	Мо-1К	Кальцифир	Кальцит	Ильменогорская свита	0.99	1202	0.70817	59.4	4.36	32	0.08291	0.511992	0.511753	-6.20
14	Виш-2	Плагиогнейс	–	Вишневогорская свита	90	328	0.72550	305	20.1	127	0.09521	0.511069	0.510795	-24.9
<i>Четласский комплекс дайковых ультрабазитов и карбонатитов (Средний Тиман)</i>														
15	1374К	Карбонатит	Доломит	Четласский комплекс	–	–	0.703480	-4.6	1.20	50	0.01468	0.512194	0.512137	5.07
16	1387/2	Карбонатит	Апатит	Четласский комплекс	–	–	0.703002	-11.3	5.20	80	0.03920	0.512326	0.512174	5.80
17	1385-5*	Карбонатит	TR-карбонат	Четласский комплекс	90	1272	0.703694	-1.6	1.30	52	0.01524	0.512227	0.512168	5.67
18	Т-450	Лампрофир	Доломит	Четласский комплекс	–	–	0.703637	-6.2	0.04	5.50	0.00462	0.512183	0.512165	5.61
19	1270-1*	Лампрофир	–	Четласский комплекс	116	1535	0.703650	-2.2	0.11	6.10	0.01048	0.512235	0.512194	6.19
20	1284	Керсантит	–	Четласский комплекс	104	432	0.703761	-0.6	5.20	75	0.04190	0.512317	0.512155	5.42
21	55/46.3**	Керсантит	–	Четласский комплекс	121	901	0.705539	24.6	8.10	56	0.08750	0.512310	0.511972	1.84
22	55/38.7**	Керсантит	–	Четласский комплекс	100	575	0.705893	29.7	7.30	45	0.09820	0.512365	0.511985	2.11
23	55/172**	Керсантит	–	Четласский комплекс	87	1127	0.704895	15.5	13.0	93	0.08530	0.512314	0.511984	2.08
<i>Вмецающие карбонатно-осадочные толщи быстринской серии (Rf₃), Средний Тиман</i>														
24	1445	Доломит	–	Быстринская серия	0.50	77	0.71380	142	0.19	0.89	0.12621	0.512084	0.511596	-5.50

* Кислотные вытяжки из валовых проб карбонатсодержащих пород.

** [Брянчанинова и др., 2010; Макеев и др., 2009].

Примечание. Погрешности значений (2σ) для $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ не превышают 0.01%, для $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ – 0.002%. Начальное отношение изотопов неодима и стронция для Ильмено-Вишневогорского и Булдымского комплексов Южного Урала рассчитано на возраст 440 млн лет [Kraam et al., 1983; Недосекова, Беляцкий, 2012]; для Четласского комплекса – на 590 млн лет [Костюхин, Степаненко, 1987].

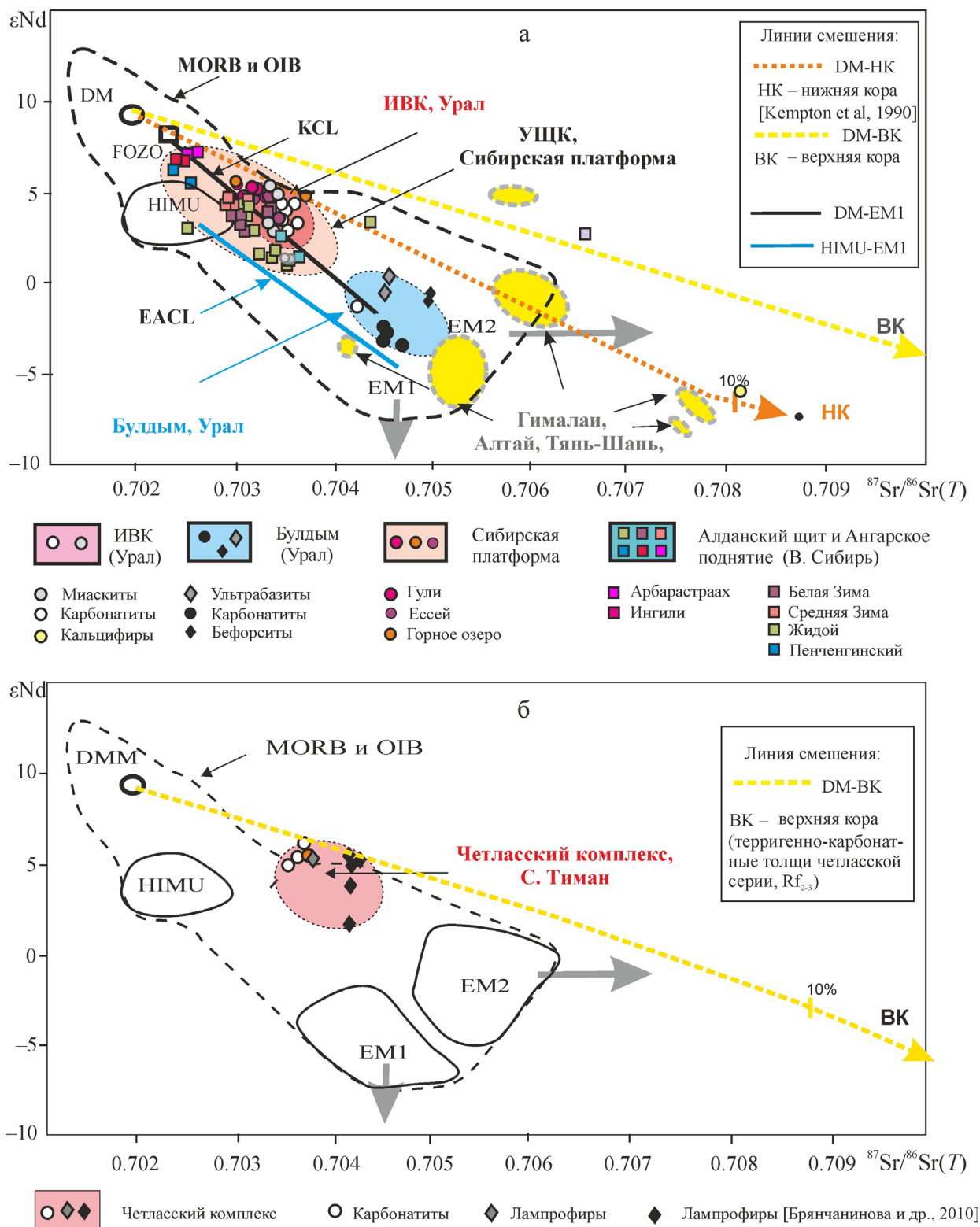


Рис. 1. Диаграмма $\epsilon Nd-^{87}Sr/^{86}Sr(T)$ для карбонатитов и щелочных пород Ильмено-Вишневогорского и Булдымского комплексов Южного Урала (а), Четласского комплекса Среднего Тимана (б) в сопоставлении с мантийными источниками DM, HIMU, FOZO, EM1, EM2, MORB и OIB [Zindler, Hart, 1986], с карбонатитовыми комплексами щитов и платформ Кольской провинции (KCL) [Kramm, 1993; Kogarko et al., 2010], Восточно-Африканской провинции (EACL) [Bell, Petersen, 1991], Сибири [Kogarko et al., 1999; Владыкин, 2005], Алдана [Владыкин, 2005], а также с коллизионными карбонатитовыми комплексами складчатых областей – Алтайской, Тянь-Шанской, Гималайской [Владыкин, 2005; Врублевский, Гертнер, 2005; Hou et al., 2006].

и карбонатитов Среднего Тимана с незначительной добавкой верхнекорового компонента, источником которого, вероятно, являются вмещающие рифейские карбонатно-осадочные толщи.

3. Таким образом, исследование Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем пород щелочно-карбонатитовых комплексов Южного Урала и Среднего Тимана и их сопоставление с комплексами основных формационных типов щелочно-карбонатитового магматизма, проявленных в разных структурах Земли, показали, что изотопные составы рассмотренных комплексов аналогичны таковым карбонатитовых комплексов щелочно-ультраосновной формации, локализованных в краевых частях платформ (с умеренно-деплетированными источниками DM) и в докембрийских кратонах (с наиболее глубинными мантийными источниками типа EM1), и отличаются от карбонатитовых комплексов консолидированных складчатых областей (обычно имеющих смешанные мантийно-коровые источники при значительном участии коровых компонентов).

Автор выражает глубокую признательность О.В. Удоротой за предоставление образцов и помощь в проведении исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00154.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баянова Т.Б. Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.
- Брянчанинова Н.И., Макеев А.Б., Ларионова Ю.О. Sm-Nd изотопная систематика лампрофиров Тимана // Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования: тез. всерос. конф. М.: ИГЕМ, 2010. С. 414–415.
- Владыкин Н.В. Геохимия изотопов Sr и Nd щелочных и карбонатитовых комплексов Сибири и Монголии и некоторые геодинамические следствия // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы. М.: ИГ СО РАН, 2005. С. 13–29.
- Врублевский В.В., Гертнер И.Ф. Природа карбонатитосодержащих комплексов складчатых областей: изотопные свидетельства мантийно-корового взаимодействия // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы. М.: ИГ СО РАН, 2005. С. 30–49.
- Костюхин М.Н., Степаненко В.И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселев А.П. Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 270 с.
- Макеев А.Б., Андреевич В.Л., Брянчанинова Н.И. Возраст лампрофиров Среднего Тимана: первые Rb-Sr данные // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 1. С. 94–97.
- Недосекова И.Л. Новые данные по карбонатитам Ильмено-Вишневогорского комплекса (Ю. Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49, № 2. С. 146–164.
- Недосекова И.Л. Возраст и источники вещества Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Ю. Урал): геохимические и Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb и Lu-Hf изотопные данные // Литосфера. 2012. № 5. С. 77–95.
- Недосекова И.Л., Беляцкий Б.В. Возраст и источники вещества Ильмено-Вишневогорского щелочного комплекса (Ю. Урал): изотопные Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb и Lu-Hf данные // Докл. АН. 2012. Т. 446, № 1. С. 71–76.
- Недосекова И.Л., Владыкин Н.В., Прибавкин С.В., Баянова Т.Б. Ильмено-Вишневогорский миаскит-карбонатитовый комплекс: происхождение, рудоносность, источники вещества (Урал, Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51, № 2. С. 157–181.
- Недосекова И.Л., Владыкин Н.В., Удоротина О.В., Ронкин Ю.Л. Карбонатиты Четласского комплекса (Средний Тиман): геохимические и изотопные данные // Ежегодник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. 2013. С. 150–158.
- Недосекова И.Л., Удоротина О.В., Владыкин Н.В., Прибавкин С.В., Гуляева Т.Я. Петрохимия и геохимия дайковых ультрабазитов и карбонатитов Четласского комплекса (Средний Тиман) // Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 158. 2011. С. 122–130.
- Прибавкин С.В., Недосекова И.Л. Источники вещества карбонатитов Ильмено-Вишневогорского комплекса по данным изотопии Sr, Nd в карбонатах // Докл. АН. 2006. Т. 408, № 3. С. 385–388.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Фор Г. Основы изотопной геологии: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 590 с.
- Bell K. Carbonatites: relationships to mantle plume activity // Mantle plumes: their identification through time / ed. by R. Ernst, K.L. Buchan // Geol. Soc. Am. Spec. Paper. 2001. V. 352. P. 267–290.
- Bell K., Blenkinsop J. Neodymium and strontium isotope geochemistry of carbonatites // Carbonatites: genesis and evolution / ed. by K. Bell. London: Unwin Hyman, 1989. P. 278–300.
- Bell K., Petersen T. Nd and Sr Isotope Systematics of Shombole Volcano, East Africa, and the Links between Nephelinite, Phonolites and Carbonatites // Geology. 1991. V. 19. P. 582–585.
- Bell K., Rukhlov A.S. Carbonatites from the Kola Alkaline Province: origin, evolution and source characteristics // Phoscorites and carbonatites from mantle to mine: the key example of the Kola Alkaline Province / ed. by A. Zaitsev, F. Wall // Miner. Soc. Series. 2004. P. 421–455.
- Dunworth E., Bell K. The Turuy massif, Kola Peninsula, Russia: isotopic and geochemical evidence for multi-source evolution // J. Petrol. 2001. V. 42. P. 377–405.
- Hou Z., Tian S., Yang Z. et al. The Himalayan collision zone carbonatites in western Sichuan, SW China: Petrogenesis, mantle source and tectonic implication // Earth Planet. Sci. Lett. 2006. V. 244. P. 234–250.
- Kempton P.D., Harmon R.S., Hawkesworth C.J. Petrology and geochemistry of lower crustal granulites from the Geronimo volcanic field, Southeastern Arizona // Geochim. Cosmochim. Acta. 1990. V. 54, no. 12. P. 3401–3426.

- Kogarko L.N., Henderson M., Foland K.* Evolution and isotopic sources of Guli ultrabasic alkaline massif // *Dokl. AN.* 1999. V. 364, no. 2. P. 235–247.
- Kogarko L.N., Lahaye Y., Brey G.P.* Plume-related mantle source of super-large rare metal deposits from the Lovozero and Khibina massifs on the Kola Peninsula, Eastern part of Baltic shield: Sr, Nd and Hf isotope systematics // *Miner. Petrol.* 2010. V. 98. P. 197–208.
- Kramm U.* Mantle components of carbonatite from the Kola Alkaline Province, Russia and Finland: A Nd-Sr Study // *Eur. J. Mineral.* 1993. V. 5. P. 985–989.
- Kramm U., Kogarko L.N.* Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero apatitic centers, Kola alkaline province, Russia // *Lithos.* 1994. No. 32. P. 225–242.
- Kramm U., Blaxland A.B., Kononova V.A., Grauert B.* Origin of the Ilmenogorsk-Vishnevogorsk nepheline syenites, Urals, USSR, and their time of emplacement during the history of the Ural fold belt: a Rb-Sr study // *J. Geol.* 1983. V. 91. P. 427–435.
- Nedosekova I.L., Belousova E.A., Sharygin V.V., Belyatsky B.V., Baynova T.B.* Origin and evolution of the Il'meny-Vishnevogorsky carbonatites (Urals, Russia): insights from trace-elements compositions, Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb and Lu-Hf isotope data // *Mineral. Petrol.* 2013. V. 107. P. 101–123.
- Zaitsev A.N., Bell K.* Sr and Nd isotope data of apatite, calcite and dolomite as indicators of source, and the relationships of phoscorites and carbonatites from Kovdor massif, Kola peninsula, Russia // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1995. V. 121. P. 324–335.
- Zindler A., Hart S.R.* Chemical geodynamics // *Ann. Rev. Earth Planet Sci.* 1986. 14. P. 493–571.