

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТРАППАХ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2003 г. Г. Д. Феоктистов

*Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128;  
E-mail: log@cora.irkutsk.su*

Поступила в редакцию после доработки 30.10.2001 г.

Изучено распределение микроэлементов (Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn, Ag, Au, Hg) в трапповых силлах двух фаз внедрения в южной части Сибирской платформы. С использованием кластерного и факторного анализа составов 86 образцов траппов установлено, что большая часть микроэлементов участвует в процессе внутрикамерной дифференциации магматического расплава, накапливаясь в конечных кислых дифференциатах. При этом Rb и Li имеют более тесную корреляцию с  $K_2O$ , Pb и Sn – с  $SiO_2$ , Cu и Zn – с FeO. Ag, Au и Hg не имеют значимой корреляции с породообразующими окислами. Вариации содержаний микроэлементов в траппах юга Сибирской платформы, как и ряда других трапповых провинций мира, примерно одинаковы.

В данной статье рассматривается распределение содержаний ряда микроэлементов, относящихся к литофильным (Li, Rb) и халькофильным (Cu, Zn, Ag, Sn, Pb, Au, Hg) элементам, во взаимоотношении с петрогенными компонентами, в траппах юга Сибирской платформы (в сравнении с таковым в траппах других древних платформ). Распределение содержаний этих микроэлементов в траппах Сибирской платформы изучалось ранее [1–5]. По другим трапповым провинциям сведения о содержании в траппах рассматриваемых микроэлементов довольно ограниченные. Так, известны содержания Li, Cu, Zn, Pb, Sn в траппах Декана [6]; Li, Rb, Zn, Cu в долеритах Карру [7, 8]; Li и Rb в траппах Антарктики [9] и Тасмании [10]; Cu [11], Rb, Pb [12] и Au [13] в траппах плато Декан; Ag [14] и Au [15] в долеритах Тасмании. Содержания Hg в базальтах и долеритах трапповых провинций неизвестны, за исключением Сибирской платформы [16].

В южной части Сибирской платформы выявлено несколько трапповых силлов протяженностью от 200 до 500 км [17]. Они согласно залегают в осадочном чехле на разных стратиграфических уровнях и погружаются в глубокую часть Канско-Тасеевской впадины (западная краевая часть платформы), где предполагается существование подводящих каналов внедрения магмы. Внедрение магмы происходило в три фазы, соответствующие по возрасту перми, раннему и среднему триасу, причем в первую фазу – в верхние, а в третью – в нижние горизонты осадочного чехла. Петрохимические и геохимические данные имеются для двух фаз внедрения магмы: второй (Толстомысовский силл) и третьей (Усольский силл). Силлы этих двух фаз внедрения представляют со-

бой почти весь объем внедрившейся магмы в южной части Сибирской платформы [18]. Толстомысовский силл залегает в отложениях ордовика – перми, а Усольский силл – в отложениях нижнего кембрия. Мощность силлов 100–150 м, в местах раздувов – до 300 м. Силлы заметно дифференцированы: нижняя зона силлов сложена более основными троктолитовыми долеритами, средняя – нормальными долеритами, верхняя – более кислыми гранофировыми долеритами со шлирами долерит-пегматитов [17].

В данной статье, по-существу, впервые рассматриваются взаимосвязи между содержаниями породообразующих окислов ( $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , FeO, MgO, CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $H_2O$ ) и ряда микроэлементов (Li, Rb, Pb, Sn, Au, Ag, Cu, Zn, Hg) в многомерном (19-мерном по общему количеству окислов и микроэлементов) пространстве методами кластерного и факторного анализов. Химический состав траппов юга Сибирской платформы охарактеризован значительным количеством химических анализов. Всего различными исследователями выполнено около 300 химических анализов образцов траппов и от 100 до 250 определений содержания в них рассматриваемых микроэлементов. Из всех имеющихся химических анализов и определений содержаний микроэлементов необходимо было выбрать те образцы траппов, для которых имелись и химические анализы, и определения содержаний рассматриваемых девяти микроэлементов. В такой выборке оказалось лишь 86 образцов траппов, но они представляют магматические образования из разных фаз внедрения силлов.

**Таблица 1.** Средние содержания породообразующих окислов и микроэлементов в траппах юга Сибирской платформы. Окислы в мас. %; Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn – в г/т; Ag, Hg – в  $10^{-6}\%$ ; Au – в  $10^{-7}\%$ 

Компонент	Толстомысовский силл			Усольский силл		
	<i>n</i> = 47			<i>n</i> = 39		
	1	2	3	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	45.56–53.84	48.74	1.69	45.57–49.30	47.25	0.78
TiO <sub>2</sub>	0.71–3.86	1.64	0.73	1.15–3.30	1.87	0.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.80–17.58	14.67	2.11	11.20–15.70	13.88	1.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.04–7.13	3.58	1.51	2.06–4.01	3.00	0.51
FeO	5.75–16.76	10.00	2.30	8.93–17.57	12.01	1.70
MgO	1.78–10.99	6.21	2.22	4.00–8.83	6.15	1.17
CaO	6.73–13.49	10.31	1.66	8.10–12.30	10.09	1.02
Na <sub>2</sub> O	1.76–3.34	2.52	0.39	2.29–3.72	2.69	0.27
K <sub>2</sub> O	0.18–1.89	0.61	0.39	0.15–1.02	0.54	0.21
H <sub>2</sub> O	0.36–2.08	1.26	0.46	0.36–2.02	0.81	0.34
Li	5–21	8.8	3.2	7–31	12.9	4.5
Rb	5–34	12.8	7.6	3–18	10.2	3.5
Pb	2–46	9.4	8.4	4–14	6.7	2.7
Sn	2–20	4.6	2.8	2–6	3.9	0.8
Au	0.1–14.4	3.68	2.41	0.8–10.5	5.46	2.44
Ag	4.3–17.0	8.32	3.97	3.0–25.0	8.36	4.56
Cu	85–600	176	102	210–520	334	75
Zn	20–240	164	48	80–263	186	46
Hg	2.3–39.0	4.8	8.2	0.3–25.0	4.5	5.9

Примечание. 1 – интервал содержаний компонентов, 2 – среднее содержание, 3 – среднеквадратическое отклонение. Химические анализы выполнялись в ИЗК СО РАН; Li, Rb, Cu определялись методом эмиссионной спектрофотометрии пламени в ИЗК СО РАН, аналитик Нетесова Г.Е.; Zn, Pb, Sn определялись количественным спектральным методом в ИРГИРЕДМЕТ, аналитик Корецкая А.Д.; Ag определялся методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии в ИЗК СО РАН, аналитик Новиков В.М.; Au определялся спектрохимическим методом в ИЗК СО РАН, аналитики Русина Л.Д. и Клячина Р.М.; Hg определялся на установке РАФ в ПГО "Иркутскгеология" и ВОСТСИБНИИГГИМС, аналитики Сафронов В.П. и Береговая И.К.

В табл.1 приведены пределы колебания и средние содержания микроэлементов (Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn, Ag, Au, Hg) в траппах юга Сибирской платформы. Для сравнения в табл. 2 помещены имеющиеся в литературе данные по содержанию этих элементов в траппах северо-западной (Черногорская интрузия) и восточной (Аламджакская интрузия) частей Сибирской платформы, а также в ряде других трапповых провинций: Карру, Декана, Тасмании и Антарктики. Несмотря на то, что эти сведения неполные, они тем не менее показывают примерно те же вариации содержаний микроэлементов, какие установлены в траппах юга Сибирской платформы. Лишь в нижней части Черногорской интрузии (такситовые габбро-долериты) зафиксированы повышенные содержания Cu и Ag. Кроме того, не обнаружены данные по распределению содержаний Hg в других трапповых провинциях.

Некоторые особенности химического состава и распределения микроэлементов в трапповых

силлах разных фаз внедрения выявляются уже при рассмотрении средних содержаний породообразующих окислов и микроэлементов, представленных в табл. 1. Отметим лишь главные из них. В траппах более ранней фазы внедрения (Толстомысовский силл) наблюдаются повышенные содержания SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Rb, Pb и пониженные – FeO, Li, Cu по сравнению с траппами более поздней фазы внедрения (Усольский силл). Для выяснения взаимоотношений содержаний породообразующих окислов и микроэлементов был проведен кластерный анализ R-типа по полным выборкам анализов траппов двух силлов: 47 анализов по Толстомысовскому силлу и 39 анализов по Усольскому силлу.

На дендрограмме кластер-анализа R-типа составов траппов Толстомысовского силла (рис. 1) выделяются четыре кластера компонентов: 1) SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn, имеющих между собой значимую положительную корреляцию; 2) H<sub>2</sub>O, Au, Ag, имеющих между

**Таблица 2.** Вариации содержаний микроэлементов в долеритах и базальтах различных трапповых провинций. Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn – в г/т; Ag – в  $10^{-6}\%$ , Au – в  $10^{-7}\%$

Компонент	1	2	3	4	5	6
Li	18–29	15–38	–	4.8–6.0	–	–
Rb	11–38	11–70	9–29	4.5–13.0	32.0	12–50
Cu	24–1900	–	16–97	97–299	–	69–123
Zn	32–90	–	76–100	88–120	–	65–104
Pb	14–28	7–15	–	3–11	–	–
Sn	–	–	–	2.2–3.0	–	–
Ag	1–100	–	–	–	7.8–9.2	–
Au	–	–	–	3.3–4.7	4.96	–

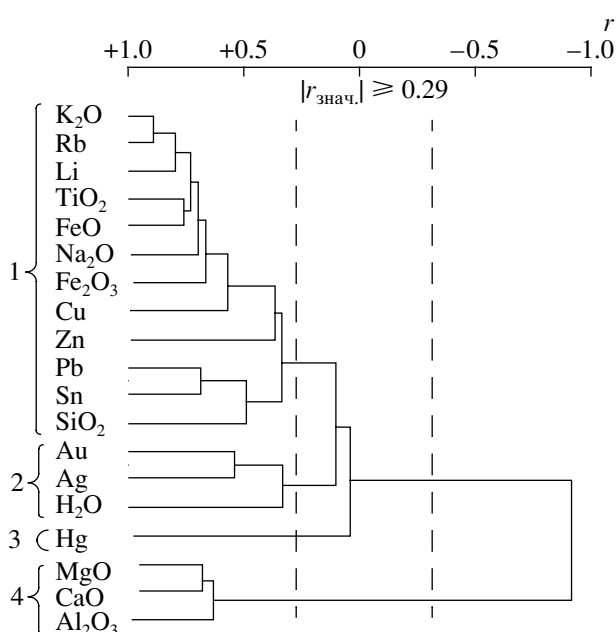
Примечание. 1 – Черногорская интрузия, северо-западная часть Сибирской платформы [1]; 2 – Аламджакская интрузия, восточная часть Сибирской платформы [1]; 3 – Карру [7]; 4 – Декан [6, 11–13]; 5 – Тасмания [10, 14, 15]; 6 – Антарктика [9].

собой значимую положительную корреляцию и незначимую положительную корреляцию с компонентами первого кластера; 3) Hg, имеющий незначимую положительную корреляцию с компонентами первых двух кластеров; 4)  $Al_2O_3$ , MgO, CaO, имеющие между собой значимую положительную корреляцию и значимую отрицательную корреляцию с компонентами первых трех кластеров. Учитывая, что повышенные содержания  $Al_2O_3$ , MgO и CaO характерны для основных дифференциатов трапповых силлов, а повышенные содержания  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , FeO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  – для кислых дифференциатов трапповых силлов, сле-

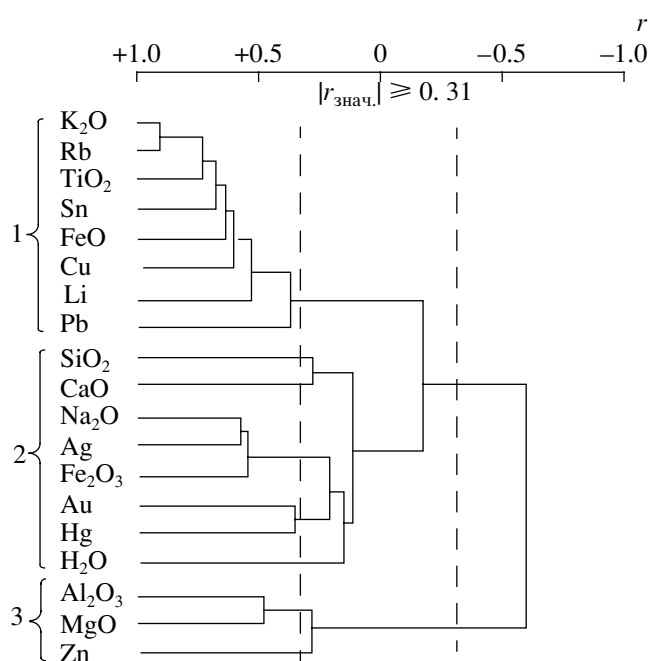
дует отметить, что большая часть изученных микрокомпонентов (Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn) участвует в процессе кристаллизационной дифференциации, накапливаясь в конечных кислых дифференциатах. При этом Rb и Li имеют более тесную корреляцию с  $K_2O$ , Pb и Sn – с  $SiO_2$ , Cu и Zn – с FeO. Остальные микрокомпоненты (Au, Ag, Hg), относящиеся к группе благородных элементов, имеют очень слабую статистически незначимую тенденцию к перераспределению содержаний в процессе кристаллизационной дифференциации трапповой магмы в камерах силлов.

В Усольском силле дифференциация проявлена заметно слабее, чем в Толстомысовском силле. Это подчеркивается меньшими диапазонами изменения содержания ряда породообразующих окислов в траппах Усольского силла, в частности,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$ , MgO и CaO (табл.1). В связи с этим, вероятно, взаимоотношения содержаний породообразующих окислов и микроэлементов в траппах Усольского силла несколько иные, чем в траппах Толстомысовского силла. На дендрограмме кластер-анализа R-типа составов траппов Усольского силла (рис. 2) выделяются три кластера компонентов: 1)  $TiO_2$ , FeO,  $K_2O$ , Li, Rb, Cu, Pb, Sn, имеющие между собой значимую положительную корреляцию; 2)  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , CaO,  $Na_2O$ ,  $H_2O$ , Au, Ag, Hg, имеющие между собой положительную (иногда незначимую) корреляцию и в целом незначимую отрицательную корреляцию с компонентами первого кластера; 3)  $Al_2O_3$ , MgO, Zn, имеющие между собой значимую положительную корреляцию и значимую отрицательную корреляцию с компонентами первых двух кластеров.

По суммарной выборке из 86 образцов составов траппов обоих силлов был проведен многомерный факторный анализ на ЭВМ с учетом одновременно содержаний 10 породообразующих окислов и 9 микроэлементов. На рис. 3 приведена



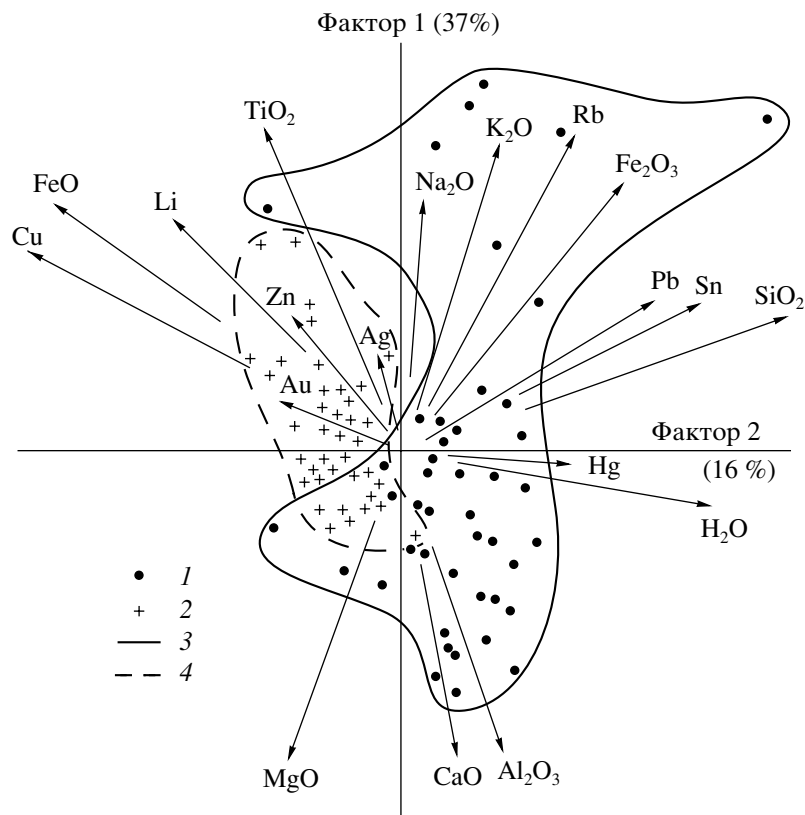
**Рис. 1.** Дендрограмма кластер-анализа R-типа содержания компонентов траппов Толстомысовского силла ( $n = 47$ ). Пунктирными линиями указаны границы значимых коэффициентов линейной корреляции содержания компонентов.



**Рис. 2.** Дендрограмма кластер-анализа R-типа содержаний компонентов траппов Усольского силла ( $n = 39$ ). Пунктирными линиями указаны границы значимых коэффициентов линейной корреляции содержаний компонентов.

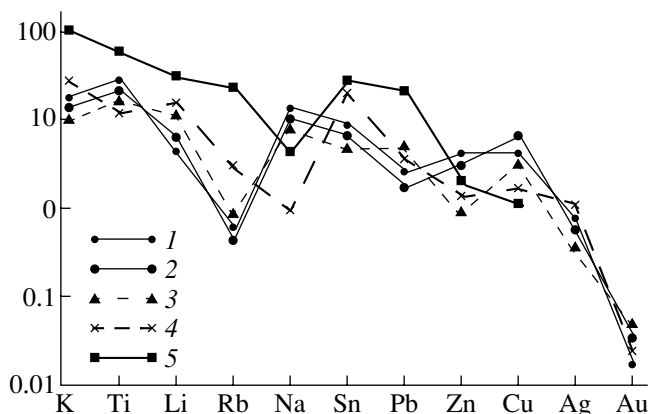
факторная диаграмма содержаний породообразующих окислов и микроэлементов в координатах 1-го и 2-го факторов, включающих в сумме 53% дисперсии компонентов. Группировка векторов окислов на этой диаграмме показывает, что направление первого фактора отражает процесс внутрикамерной дифференциации магмы. В нижней части диаграммы расположены векторы окислов MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, повышенные содержания которых характерны для ранних более основных дифференциатов – троктолитовых долеритов. В верхней части диаграммы находятся векторы группы окислов (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O), повышенные содержания которых характерны для поздних более кислых дифференциатов – гранофировых долеритов. Соответственно, точки составов траппов в верхней части диаграммы отвечают троктолитовым долеритам; в центре диаграммы – нормальным долеритам, в нижней части диаграммы – гранофировым долеритам.

Направление второго фактора (рис. 3) показывает различие в составе исходных расплавов трапповых силлов разных фаз внедрения. Это подчеркивается смещением поля точек составов траппов Усольского силла (третья фаза внедрения). Траппы ранней фазы внедрения характеризу-



**Рис. 3.** Факторная диаграмма содержаний породообразующих окислов и микроэлементов в траппах юга Сибирской платформы ( $n = 86$ ).

1, 3 – точки составов и контур их поля траппов Толстомысовского силла; 2, 4 – точки составов и контур их поля траппов Усольского силла.



**Рис. 4.** Диаграмма распределения микроэлементов в траппах и кимберлитах Сибирской платформы и в лампроитах Западной Австралии относительно примитивной мантии [19, 20].

1 – траппы Толстомысовского силла, 2 – траппы Усольского силла, 3 – траппы Черногорской интрузии, 4 – кимберлиты, 5 – лампроиты.

ются более высокими содержаниями  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , Hg, Rb, Sn, Pb и пониженными –  $\text{MgO}$ , FeO,  $\text{TiO}_2$ , Li, Cu, Zn, Au.

На рис. 4 приведена диаграмма распределения содержаний микроэлементов, нормированных относительно примитивной мантии по [20] (для Au и Ag – относительно хондритов по [19]), в траппах юга Сибирской платформы, в траппах Черногорской интрузии на северо-западе Сибирской платформы [1], в кимберлитах Сибирской платформы [21] и в лампроитах Западной Австралии [22]. Кривые содержания микроэлементов в лампроитах и кимберлитах имеют две ветви: первая соответствует литофильным элементам (от K до Na) и вторая – халькофильным элементам (от Sn до Au).

Ранее нами [23] было изучено распределение содержаний 14 несовместимых элементов, нормализованных относительно примитивной мантии, в лампроитах Западной Австралии. При расположении элементов на диаграмме в порядке понижения их совместимости [24] кривая распределения их содержаний должна была бы быть монотонной. Однако на реальной кривой распределения содержаний несовместимых элементов в лампроитах Западной Австралии выделяются две ветви, смещенные относительно друг друга: одна для Ba, Rb, Th, Nb, K, U и другая для La, Ce, Pb, Zr, Sr, Sn, Ti, Y. Судя по повышенным содержаниям второй группы элементов, их привнос в зону магмообразования был более интенсивным, или же был разновременный привнос двух групп элементов.

По аналогии с распределением содержаний несовместимых элементов в лампроитах предполагается, что появление двух ветвей на кривых распределения содержаний литофильных и халь-

кофильных элементов (рис. 4) в лампроитах и кимберлитах может быть обусловлено либо более интенсивным привносом халькофильных элементов в зону магмообразования, либо разновременным привносом литофильных и халькофильных элементов.

Кривые распределения содержаний литофильных и халькофильных элементов (рис. 4) в траппах Сибирской платформы (Толстомысовский и Усольский силлы юга платформы и Черногорская интрузия северо-западной части платформы) имеют три ветви: первая для элементов K, Ti, Li, Rb; вторая для Na, Sn, Pb, Zn и третья для Cu, Ag, Au. Отличие в распределении содержаний рассматриваемых микроэлементов в траппах по сравнению с лампроитами и кимберлитами обусловлено, вероятно, различием в условиях формирования в мантии соответствующих магматических расплавов.

Кимберлитовые и лампроитовые магматические расплавы возникают в результате частичного плавления карбонатизированного флогопитового перидотита, которое сопровождается обогащением некогерентными элементами [20]. Очаги частичного плавления располагались на больших глубинах, в области стабильности алмаза, и имели относительно малые размеры, так как кимберлитовые и лампроитовые дайки и трубки взрыва, образующиеся при внедрении магматических расплавов, незначительны по объему.

Особенностью траппового магматизма на Сибирской платформе является огромный объем внедрившегося в осадочный чехол и излившегося на поверхность магматического расплава толеитового состава. По ориентировочным расчетам [18] этот объем составляет 1.75 миллиона кубических километров. Появление таких объемов магматического расплава в верхней мантии взаимосвязано, по всей вероятности, с частичным плавлением субстрата мантии в обширных по площади зонах, сопоставимых по размеру с крупными синеклизами Сибирской платформы. Степень частичного плавления была незначительной (10–15% объема), поэтому отмеченные выше особенности распределения микроэлементов в траппах Сибирской платформы обусловлены, вероятно, составом плавящегося субстрата мантии и различной возможностью перехода отдельных групп микроэлементов в возникающий магматический расплав.

## КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Вариации содержаний рассмотренных микроэлементов (Li, Rb, Cu, Zn, Pb, Sn, Ag, Au) примерно одинаковы в долеритах и базальтах трапповых провинций Сибирской платформы, Карру,

Декана, Тасмании и Антарктики, лишь отсутствуют сравнительные данные по содержанию ртути.

2. В трапповых силлах юга Сибирской платформы большая часть изученных микроэлементов участвует в процессе внутрикамерной дифференциации магмы, накапливаясь в конечных кислых дифференциатах. При этом Rb и Li имеют более тесную положительную корреляцию с  $K_2O$ , Pb и Sn – с  $SiO_2$ , Cu и Zn – с FeO. Остальные микрокомпоненты (Au, Ag, Hg), относящиеся к группе благородных элементов, имеют очень слабую статистически незначимую тенденцию к перераспределению содержания в процессе дифференциации магмы в камерах силлов.

3. Кривые содержаний микроэлементов, нормированных относительно примитивной мантии, имеющие две ветви для лампроитов и кимберлитов, позволяют высказать предположение о том, что происходил либо более интенсивный привнос халькофильных элементов в локальные глубинные очаги магмообразования, либо имел место разновременный привнос литофильных и халькофильных элементов. Иной характер распределения содержаний микроэлементов в траппах Сибирской платформы связан, по всей вероятности, с условиями возникновения толеитового расплава вследствие частичного плавления субстрата мантии в обширных горизонтах ее верхних частей. Особенности распределения микроэлементов при этом обусловлены составом субстрата мантии и различной степенью перехода отдельных групп микроэлементов в возникающий магматический расплав.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нестеренко Г.В., Альмухамедов А.И.* Геохимия дифференцированных траппов. М.: Наука, 1973. 198 с.
2. *Феоктистов Г.Д.* Распределение цинка, свинца и олова в траппах юга Сибирской платформы // Геохимия. 1977. № 8. С. 1183–1191.
3. *Феоктистов Г.Д.* Распределение золота и платины в интрузивных траппах юга Сибирской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 1. С. 118–124.
4. *Феоктистов Г.Д., Сизых Ю.И., Новиков В.М.* Распределение серебра в траппах юга Сибирской платформы // Геохимия. 1989. № 9. С. 1354–1359.
5. *Феоктистов Г.Д.* Распределение ртути в траппах юга Сибирской платформы // Геохимия. 2001. № 2. С. 160–166.
6. *Альмухамедов А.И., Золотухин В.В., Альмухамедов Е.А.* Кайнозойские траппы Декана. 2. Геохимическая характеристика // Геология и геофизика. 1991. № 10. С. 58–67.
7. *Roex A.P., Reid D.L.* Geochemistry of Karroo dolerite sills in the Calvinia district, Western Cape province, South Africa // Contribs Mineral. and Petrol. 1978. V. 66. № 4. P. 351–360.
8. *Jamieson B.G., Clarke D.B.* Potassium and associated elements in tholeiitic basalts // J. Petrol. 1970. V. 11. № 2. P. 183–204.
9. *Gunn B.M.* Modal and element variation in Antarctic tholeiites // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1966. V. 30. № 9. P. 881–920.
10. *Erlank A.J., Hofmeyr P.K.* K/Rb and K/Cs ratios in Karroo dolerites from South Africa // J. Geophys. Res. 1966. V. 71. № 22. P. 5439–5445.
11. *Александр П.О.* Медь в базальтах Декана // Траппы Сибири и Декана: черты сходства и различия. Новосибирск: Наука, 1991. С. 108–116.
12. *Сетна С.Ф., Сетна Б.С.* Сравнение геохимических характеристик базальтов деканских траппов из Западных Гат вблизи Игатпури и восточных обнажений вблизи Нагпура и их петрогенетическое значение // Траппы Сибири и Декана: черты сходства и различия. Новосибирск: Наука, 1991. С. 97–108.
13. *Олейников Б.В., Коробейников А.Ф., Королева О.В. и др.* Золото в базальтах плато Декан // ДАН СССР. 1991. Т. 319. № 1. С. 228–230.
14. *Greenland L.P.G., Fones R.* Geochemical behavior of silver in a differentiated tholeiitic dolerite sheet // Neues Jahrb. Mineral. Monatsh. 1971. H. 9. P. 393–398.
15. *Rowe J.J.* Fractionation of gold in a differentiated tholeiitic dolerite // Chem. Geol. 1969. V. 4. № 3/4. P. 421–427.
16. *Озерова Н.А.* Ртуть и эндогенное рудообразование. М.: Наука, 1986. 232 с.
17. *Феоктистов Г.Д.* Петрология и условия формирования трапповых силлов. Новосибирск: Наука, 1978. 168 с.
18. *Васильев Ю.Р., Золотухин В.В., Феоктистов Г.Д., Прусская С.Н.* Оценка объемов и проблема генезиса пермотриасового траппового магматизма Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 12. С. 1696–1705.
19. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
20. *Wedepohl K.N., Muramatsu Y.* The chemical composition of kimberlites compared with the average composition of three basaltic magma types // Kimberlites, diatremes, and diamonds: Their geology, petrology, and geochemistry (Proceeding of the Second international kimberlite conference. Volume 1). Washington, 1979. P. 300–312.
21. *Илупин И.П., Ваганов В.И., Прокопчук В.И.* Кимберлиты. М.: Недра, 1990. 248 с.
22. *Джейкс А., Луис Дж., Смит К.* Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. М.: Мир, 1989. 430 с.
23. *Феоктистов Г.Д., Владимиров Б.М., Егоров К.Н., Конев А.А.* Петрохимическое сравнение кимберлитов и некоторых лампроитов Сибирской платформы и Австралии // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 10. С. 28–35.
24. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins. Oxford, Blackwell, 1989. P. 313–345.