

Первые данные об изотопии гелия в кайнозойских базальтах Монголии

Грачев А.Ф., Геншафт Ю.С., Каменский И.Л., Салтыковский А.Я.
Объединенный институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

Аннотация

Впервые проведенный анализ изотопии гелия в кайнозойских базальтах Монголии выявил сильную изотопную гетерогенность мантии. Отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ меняется от 0.1 до 8.7×10^{-6} . В мантийные ксенолиты в базальтах это отношение варьирует от значений, типичных для источника типа MORB до типично плюмовых величин (более 20×10^{-6}).

После открытия в 1969 г. на Земле первичного (солнечного) ^3He [1, 2] появилось большое число работ, подтвердивших существование высоких значений отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, значительно превышающих атмосферное R_0 ($^3\text{He}/^4\text{He} = 1.4 \times 10^{-6}$) [3, 4 и др.]. Дальнейшие исследования показали, что самым устойчивым из всех земных резервуаров является источник типа MORB, связанный со срединно-океаническими хребтами, который характеризуется практически постоянным отношением $^3\text{He}/^4\text{He} = 11 \times 10^{-6}$. Наиболее высокие изотопные отношения гелия ($R_0 > 15$) связаны с мантийными плюмами (Гавайи, Исландия и др.), где предполагается поступление слабо дегазированной мантии примитивного состава. В работе К.Фарли с коллегами [5] такой мантийный резервуар получил название РНЕМ.

В последние годы для многих областей кайнозойского базальтового вулканизма как в пределах континентов, так и дна океанов получены представительные данные по He-Ar систематике, которые сыграли решающую роль в определении природы глубинных источников магматизма [6]. На этом фоне до недавнего времени своеобразным «белым пятном» оставалась область внутриплитного вулканизма Евразии. Первые результаты, полученные для кайнозойских базальтов Байкальского рифта, Северного Тянь-Шаня и Северо-Восточной Азии, показали существенные вариации отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, от типично



Рис. 1. Схема положения ареалов кайнозойского базальтового вулканизма [11], в пределах которых были отобраны образцы для анализа (номера образцов приведены в скобках).

1 – Западное Прихубсугулье, 2 – Восточное Прихубсугулье (182), 3 – Тэсийнгольский (334), 4 – Хануйгольский (402), 5 – Орхон-Селенгинский (475, 477а, 477д, 869, 882б), 6 – Угейнурский (489б), 7 – Тарят-Чулутинский (354, 431), 8 – Южно-Хангайский (355), 9 – Долиноозерский (371б), 10 – Барун-Хурайский, 11 – Дзобханский, 12 – Гобийский Алтай, 13 – Северо-Гобийский (375), 14 – Мандал-Гобийский (600, 604, 624), 15 – Ундэр-Шильский (641), 16 – Дариганга (493, 503, 506б, 511), 17 – Нумургингольский (Халхингольский), 18 – Хэнтэйский.

атмосферных до плюмовых величин (${}^3\text{He}/{}^4\text{He}=18$) [7-10]. Однако для Монголии, где наиболее широко проявился кайнозойский базальтовый вулканизм, данных по изотопии гелия до сих пор не было.

В данной работе мы приводим первые результаты изучения изотопии гелия для кайнозойских базальтов и ультраосновных ксенолитов Монголии. Для анализа были отобраны образцы базальтов из всех ареалов их распространения (рис. 1). В основном они сосредоточены в субмеридиональной полосе между меридианами 97° и 105° в.д., простирающейся от Хамар-Дабана и Прихубсугуля на севере до Северной Гоби на юге. Западнее и восточнее этой полосы существуют отдельные вулканические зоны, среди которых наиболее обширной является плато Дариганга – северо-западная часть вулканического ареала Внутренней Монголии (Китай). Общая петрохимическая характеристика продуктов вулканизма упомянутых ареалов приведена в работе [11]. Многочисленные данные химического состава кайнозойских базальтов Монголии показывают, что они в основном принадлежат к серии щелочно-оливиновых пород, меньшая часть относится к толеитовому типу и переходным разновидностям.

В петрохимическом отношении отчетливо различаются вулканические ареалы, расположенных восточнее 106° в.д. и западнее этого меридиана [11]. Базальты восточных ареалов характеризуются более низкими содержаниями SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и повышенными - MgO , CaO , TiO_2 , FeO^* (суммарное железо). Было показано, что Центральная Монголия (Хангайское нагорье) может рассматриваться как особый структурный элемент, относительно которого в разных направлениях закономерно меняются такие петрохимические показатели вулканических пород, как содержания щелочей, кремнезема, оксидов железа, магнезиальность, калиевость пород. В сторону Байкальского рифта и особенно Дариганги в характере изменчивости состава вулканических пород существенную роль играют оксиды железа. В отдельных ареалах отмечается увеличение щелочности в более молодых вулканических породах.

Анализ выполнен на масс-спектрометре МИ-1201 №22-78 по методике дробления, изложенной в работе [12]. На основе опыта предшествующих исследований изотопии гелия в базальтах для исследования были выбраны фенокристы оливинов и клинопироксенов, в которых, как правило, отношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ значительно выше, чем по породе в целом. Результаты анализов приведены в табл. 1 и 2. Отношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ в базальтах сильно варьирует - 0.1 до 8.7×10^{-6} при среднем значении 2.21×10^{-6} . При сравнении изотопных отношений гелия в отобранных минералах видно, что для оливина они почти в 3 раза выше, чем в клинопироксене.

Рассматривая вариации отношения ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ по площади, следует отметить, что наиболее высокие значения характерны для двух ареалов базальтов: плато Дариганги (7.8×10^{-6}) и Орхон-Селенгинского района (8.7×10^{-6}), входящего в Хангайское нагорье. Однако в обоих случаях отношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ не превышает величину, типичную для MORB.

При сравнении полученных результатов с аналогичными данными для других областей кайнозойского базальтового вулканизма (Байкальский рифт, Северный Тянь-Шань, Северо-Восточная Азия и Китай) [7-10] следует отметить, что базальты Монголии имеют более высокую гелиевую метку.

Анализ изотопии гелия в ксенолитах шпинелевых лерцолитов из базальтов плато Дариганги (табл. 2) как для оливинов, так и для пироксена выявил сопоставимые значения, близкие к величинам для источника типа MORB. Эти значения существенно отличаются от цифры, полученной ранее методом плавления для валового анализа ксенолита шпинелевого лерцолита из базальтов вулк. Шаварын-Царам (Тарягское нагорье) (табл. 2). Следует отметить, что такие значения приведены в работе [13] для ксенолитов из того же района.

Таблица 1. Содержание и изотопные отношения He и Ar в кайнозойских базальтах Монголии

№№ 40Ar/36Ar	Образец	Порода, минерал	Навеска, г	4He	3He/4He	40Ar
				нсм ³ /г x10 ⁻⁸	x10 ⁻⁶	x10 ⁻⁸
Базальты						
1	182	Ol	1.2	0.46	3.95	
2	334	вал	2.0	2.3	0.27	
3	334	Ol	0.8	2.3	2.43	
4	354	Ol	2.0	1.1	1.45	
5	354	Pу	1.4	5.3	0.35	8.2
310						
6	355	Ol	2.0	0.94	0.89	11
395						
7	371	Ol	0.13	32.0	0.56	
8	375	Pу	0.16	6.0	<2.53	
9	402	Ol	1.45	1.7	3.32	5.0
285						
10	402	Pу	0.3	4.4	1.6	29.0
305						
11	431	Ol	2.0	0.94	3.44	
12	431	Pу	1.85	1.0	1.22	8.4
293						
13	475	Вал	2.0	0.3	1.3	
14	475	Ol	2.0	3.4	1.33	6.2
318						
15	477a	Ol	1.4	7.0	8.7	
16	478д	Ol	2.25	1.5	5.7	
17	489в	вал	2.0	6.9	2.39	
18	489в	Ol	0.2	3.8	0.85	
19	489в	Mt	1.3	32.0	2.51	56
302						
20	493	Ol	1.65	1.2	2.11	5.2
311						
21	503	Ol	1.1	4.6	7.82	
22	506в	Ol	0.6	3.2	5.60	
23	506в	Pу	1.0	2.6	0.88	17.0
310						
24	511	Ol	1.2	1.1	2.23	
25	511	Pу	1.1	1.1	2.95	
26	600	Ol	2.1	1.6	0.88	
27	604	Ol	1.0	1.8	1.87	
28	604	Pу	0.3	7.5	0.96	
29	624в	Ol	0.75	5.6	1.01	
30	641	Pу	2.0	4.0	0.10	
31	869	Ol	0.45	2.2	3.77	
32	882в	Вал	2.0	0.75	1.56	
33	882в	Ol	1.5	2.3	0.80	
34	882в	Pу	0.35	2.7	1.17	
35	882д	Pу	0.85	3.7	0.51	
36	882д	Ol	1.6	1.7	0.78	

Полученные результаты имеют первостепенное значение для решения вопроса о природе внутриплитного кайнозойского базальтового магматизма Монголии [14]. Весьма перспективными для дальнейшего изучения в плане поиска более высоких изотопных отношений гелия являются базальты плато Дариганги и Тарянского нагорья. Именно здесь, исходя из особенностей как химического состава базальтов, включая распределение редкоземельных элементов [14], так и уже имеющихся первых данных по изотопии гелия, можно при дальнейших целенаправленных исследованиях ожидать получение типично плюмовой гелиевой метки с отношением $^3\text{He}/^4\text{He}$ более $>15 \times 10^{-6}$.

Таблица 2. Содержание и изотопные отношения He и Ar в ксенолитах шпинелевых лерцолитов из кайнозойских базальтов Монголии

№№ $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	Образец	Порода, минерал	Навеска, г	^4He	$^3\text{He}/^4\text{He}$	^{40}Ar	
				нсм ³ /г $\times 10^{-8}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-8}$	
Дариганга							
1	687-21	О1	2.0	20	9.7	78	742
2	687-21	О1	2.0	10	8.1	79	400
3	687-12	О1	2.0	0.7	3.3	4.4	445
4	687-12	О1	2.0	<0.3	<3	<3	354
Шаварын-Царам							
5 402	4500-25*	Вал	1.5	6.0	26.6	5.35	

*Примечание: * Анализ этого образца был выполнен в лаборатории ИГГД РАН Е.Р.Друбецким методом плавления по методике, описанной в работе⁽⁵⁾.*

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 01-05-64381, 03-05-64077 и проекта «Взаимодействие мантийных плюмов с литосферой» РАН.

Литература

1. Мамырин Б.А. и др. // Докл. АН СССР. 1969. Т.184. N 5. С. 1197-1199.
2. Clarke W.B. et al. // Earth Planet. Sci. Lett. 1969. Vol.6. P. 213-220.
3. Мамырин Б.А., Толстихин И.Н. Изотопы гелия в природе. М.: Энергоиздат, 1981. 224 с.
4. Азбель И.Я., Толстихин И.Н. Радиогенные изотопы и эволюция мантии земли, коры и атмосферы. Апатиты. 1988. 140 с.
5. Farley K.A. et al. // Earth Planet. Sci. Lett. 1992. Vol.111. P.183-199.
6. Dunai T.J., Porcelli D. // Reviews in mineralogy and geochemistry. 2002. N 47. P. 371-436.
7. Друбецкой Е.Р., Грачев А.Ф. Базальты и ультраосновные ксенолиты Байкальской рифтовой зоны. Изотопия гелия и аргона. В кн.: Глубинные ксенолиты и строение литосферы. М.: Наука, 1987. С.54-63.
8. Грачев А.Ф. // Физика Земли. 1998. № 2. С. 3-28.
9. Грачев А.Ф. // Физика Земли. 1999. № 9. С. 19 – 37.
10. Грачев А.Ф. // Физика Земли. 1999. № 10. С. 26-51.

11. Геншафт Ю.С., Салтыковский А.Я. Российский журнал наук о Земле. 2000. № 2. С. 153-183.
12. Kamensky I.L. et al. // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1990. V. 54. P. 3115-3122.
13. Staudacher Th., Allegre C.J. Cosmogenic neon in ultramafic nodules from Asia and in quartzite from Antarctica // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1991. V.106. P.87-102.
14. Геншафт Ю.С. и др. В кн.: Мантийные плюмы и металлогения. Петрозаводск-Москва: Изд-во Пробел, 2002. С. 45-51.