

УДК 550.42+552.11

## ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗОТОПИИ ГЕЛИЯ В КАЙНОЗОЙСКИХ БАЗАЛЬТАХ МОНГОЛИИ

© 2003 г. А. Ф. Грачев, Ю. С. Геншафт, И. Л. Каменский, А. Я. Салтыковский

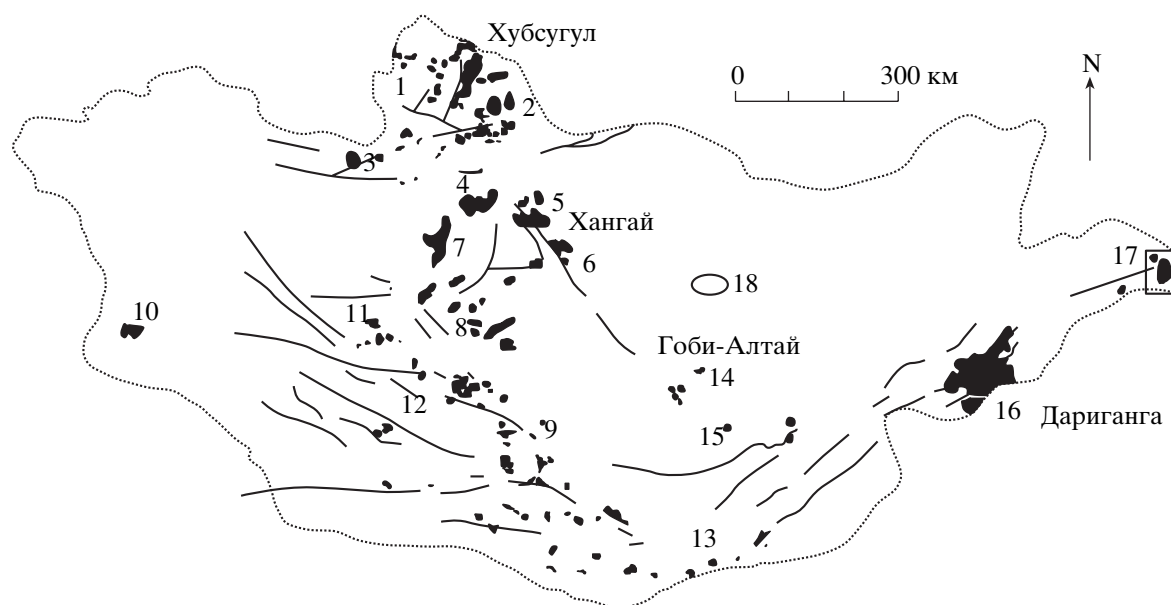
Представлено академиком Л.Н. Когарко 16.06.2003 г.

Поступило 19.06.2003 г.

После открытия в 1969 г. на Земле первичного (солнечного)  $^3\text{He}$  [1, 2] появилось большое число работ, подтвердивших существование высоких значений отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$ , значительно превышающих атмосферное  $R_0$  ( $^3\text{He}/^4\text{He} = 1.4 \cdot 10^{-6}$ ) [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  $^3\text{He}/^4\text{He} = 11 \cdot 10^{-6}$ . Наиболее высокие изотопные отношения гелия ( $R_0 > 15$ ) связаны с ман-

тийными 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 внутри-



**Рис. 1.** Схема положения ареалов кайнозойского базальтового вулканизма [11], в пределах которых отобраны образцы для анализа (номера образцов приведены в скобках). 1 – Западное Прихубсугулье; 2 – Восточное Прихубсугулье (182); 3 – Тэсийгольский (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 – Дзабханский; 12 – Гобийский Алтай; 13 – Северо-Гобийский (375); 14 – Мандал-Гобийский (600, 604, 624); 15 – Ундэр-Шильский (641); 16 – Дариганга (493, 503, 506б, 511); 17 – Нумургийнгольский (Халхингольский); 18 – Хэнтэйский.

Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук, Москва  
Геологический институт Кольского научного центра Российской Академии наук, Апатиты Мурманской обл.

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

№ п.п.	№ обр.	Порода, минерал	Навеска, г	$^4\text{He}$ , нсм <sup>3</sup> /г $\times 10^{-8}$	$^3\text{He}/^4\text{He}$ , $\times 10^{-6}$	$^{40}\text{Ar}$ , $\times 10^{-8}$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$
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	477а	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		

плитного 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 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 этой 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  $97^\circ$  и  $105^\circ$  в.д., простирающейся от Хамар-Дабана и Прихубсугуля на севере до Северной Гоби на юге. Западнее и

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

№ п.п.	№ обр.	Порода, минерал	Навеска, г	$^4\text{He}$ , нсм <sup>3</sup> /г × 10 <sup>-8</sup>	$^3\text{He}/^4\text{He}$ , × 10 <sup>-6</sup>	$^{40}\text{Ar}$ , × 10 <sup>-8</sup>	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$
Д а р и г а н г а							
1	687-21	O1	2.0	20	9.7	78	742
2	687-21	O1	2.0	10	8.1	79	400
3	687-12	O1	2.0	0.7	3.3	4.4	445
4	687-12	O1	2.0	<0.3	<3	<3	354
Ш а в а р ы н - Ц а р а м							
5	4500-25*	Вал	1.5	6.0	26.6	5.35	402

\* Анализ этого образца был выполнен в лаборатории ИГГД РАН Е.Р. Друбецким методом плавления по методике, описанной в работе [5].

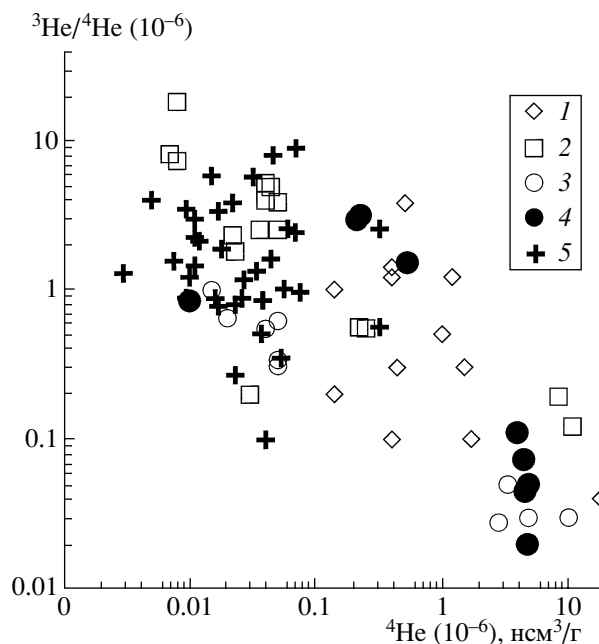
восточнее этой полосы существуют отдельные вулканические зоны, среди которых наиболее обширной является плато Дариганга – северо-западная часть вулканического ареала Внутренней Монголии (Китай). Общая петрохимическая характеристика продуктов вулканизма упомянутых ареалов приведена в работе [11]. Многочисленные 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 разностям.

В петрохимическом отношении отчетливо различаются вулканы ареалов, расположенных восточнее 106° в.д. и западнее этого меридиана [11]. Базальты восточных ареалов характеризуются более низкими содержаниями SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O и повышенными – MgO, CaO, TiO<sub>2</sub>, 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 вулканитов, как содержания щелочей, кремнезема, оксидов железа, магнезиальность, калиевость пород. В сторону Байкальского рифта и особенно Дариганги в характере изменчивости состава вулканитов существенную роль играют оксиды железа. В отдельных ареалах отмечается увеличение щелочности в более молодых вулканитах.

Анализы выполнены на масс-спектрометре МИ-1201 № 22–78 по методике дробления, изложенной в [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 силь-

но варьирует – от 0.1 до 8.7 ( $\cdot 10^{-6}$ ) при среднем значении  $2.21 \cdot 10^{-6}$ . 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 ( $7.8 \cdot 10^{-6}$ ) и Орхон-Селенгинского района ( $8.7 \cdot 10^{-6}$ ), входящего в Хангайское нагорье.



**Рис. 2.** Диаграмма  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ( $10^{-6}$ ) –  $^4\text{He}$  ( $10^{-6}$ ) нсм<sup>3</sup>/г для кайнозойских базальтов Монголии в сравнении с базальтами других районов Азии. 1 – Байкальский рифт; 2 – Северо-Восточная Азия; 3 – Северо-Восточный Китай; 4 – Северный Тянь-Шань; 5 – Монголия.

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 (рис. 2).

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 величины, полученной ранее методом плавления для валового анализа ксенолита шпинелевого лерцолита из базальтов вулкана Шаварын-Царам (Тарягское нагорье) (табл. 2). Следует отметить, что такие значения приведены в работе [13] для ксенолитов из того же района.

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 Тарягского нагорья. Именно здесь, исходя из особенностей как химического состава базальтов, включая распределение редкоземельных элементов [14], так и уже имеющих 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  $15 \cdot 10^{-6}$ .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 01–05–64381, 03–05–64077) и проекта “Взаимодействие мантийных плюмов с литосферой” РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мамырин Б.А., Толстухин И.Н., Ануфриев Г.С. и др. // ДАН. 1969. Т.184. № 5. С. 1197–1199.
2. Clarke W.B., Beg M.A., Craig H. et al. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1969. V. 6. P. 213–220.
3. Мамырин Б.А., Толстухин И.Н. Изотопы гелия в природе. М.: Энергоиздат, 1981. 224 с.
4. Азбель И.Я., Толстухин И.Н. Радиогенные изотопы и эволюция мантии Земли, коры и атмосферы. Апатиты, 1988. 140 с.
5. Farley K.A., Natland J.H., Craig H. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1992. V. 111. P. 183–199.
6. Dunai T.J., Porcelli D. // Rev. Mineral. and Geochem. 2002. № 47. P. 371–436.
7. Друбецкой Е.Р., Грачев А.Ф. 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. // Рос. журн. наук о Земле. 2000. № 2. С. 153–183.
12. Kamensky I.L., Tolstikhin I.N., Vetrin V.R. et al. // Geochim. et cosmochim. acta. 1990. V. 54. № 11. P. 3115–3122.
13. Staudacher Th., Allegre C.J. // Earth and Planet. Sci. Lett. 1991. V. 106. P. 87–102.
14. Геншафт Ю.С., Грачев А.Ф., Салтыковский А.Я. и др. В кн.: Мантийные плюмы и металлогения. Петрозаводск; М.: Изд-во “Пробел”, 2002. С. 45–51.