

УДК 546.292+553.495

ГЕОХИМИЯ

А. Б. ВЕРХОВСКИЙ, Ю. А. ШУКОЛЮКОВ

О ВОЗМОЖНОМ ПРИСУТСТВИИ В СЭДБЕРИТАХ МОНЧЕГОРСКОГО ПЛУТОНА ПЕРВИЧНОГО НЕОНА ЗЕМЛИ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 14 III 1975)

Сэдбериты Мончегорского плутона — шпинель-кордиеритовые породы метаморфического происхождения — представляют собой ксенолиты, включенные в нориты критического горизонта.

Значения К—Аг-возраста сэдберитов столь велики, что нередко намного превышают возраст земного вещества ⁽¹⁾. Это вызвано присутствием в породах избыточного ⁴⁰Аг, генетически не связанного с ⁴⁰К ⁽¹⁾. Избыточный ⁴⁰Аг, так же как избыточный Не (до 0,1 см³·г⁻¹), концентрируется преимущественно в кордиерите или же при хлоритизации кордиерита — в хлорите ⁽¹⁾. Избыточные Не и Аг в сэдберитах рассматривались либо как продукты распада гипотетического трансуранового элемента ⁽²⁾, либо как окклюдированные при минералообразовании газы ⁽³⁾.

Таблица 1

Образец	Не, 10 ⁻² см ³ /г	Аг, 10 ⁻² см ³ /г	Не, 10 ⁻⁷ см ³ /г	²¹ Не, ²² Не	²⁰ Не, ²² Не	²¹ Не рад, 10 ⁻¹¹ см ³ /г	⁴⁰ Аг/ ³⁶ Аг	³⁶ Аг, ³⁸ Аг	Аг ³⁶ , 10 ⁻⁷ см ³ /г	К—Аг- возраст, 10 ⁶ лет
Кордиерит из сэдберита 619 ^a (3,6 г)	9,35	7,4	7,5			150	11500	—	6,5	
400°	0,06		0,2	0,0318±0,0010	10,12±0,08	0,36				
700°	9,0		1,5	0,0530±0,0010	10,72±0,06	0,37				
1000°	0,12		5,5	0,0515±0,0010	10,62±0,07	110				11800
1300°	0,17		0,3	0,0321±0,0015	10,08±0,1	1,5				
То же (1,7 г)	10,0	8,6	6,0	0,0528±0,0010	10,50±0,06	130	8000	5,35±0,1	10,0	11800
Хлорит из сэдберита 619 ^a	9,10	7,5	6,0			130	13200		5,7	
700°	8,8	5,0	1	0,0480±0,0010	—	2,0	36700	5,2±0,1	1,4	
920°	0,27	2,4	0,3	0,0533±0,0010	10,50±0,06	110	6300	5,35±0,1	4,3	10850
1120°	0,03			0,407±0,0020	10,55±0,06	3				
Сэдберит № 27 ^b (1,3 г)	6,0	6,6	2,7			27	14100		4,6	
400°	0,1		0,2	0,0410±0,0020	10,00±0,1	1,9				
700°	5,6	2,0	0,6	0,0365±0,0010	9,87±0,08	4,2	23600	5,3±0,1	0,85	
1000°	0,26		1,8	0,0400±0,0010	10,23±0,08	19				10300
1300°	0,06	4,6	0,25	0,0335±0,0015	9,80±0,08	2,2	12000	5,35±0,1	3,8	
То же (2,7 г)	4,5	6,7	2,3	0,0413±0,0010	10,10±0,06	25	14900	5,3±0,1	4,6	10300
Хлорит из сэдберита XIII (1,9 г)	0,95	23,7	2,8	0,0547±0,0010	10,35±0,06	70	16100	5,3±0,01	15	14500
Атмосфера	—	—	—	0,0288	9,85	—	296	5,35	—	

В данной работе сообщается о результатах первых определений содержания и изотопного состава Не в сэдберитах с наиболее высокими концентрациями Не.

Особенностью методики изотопного анализа Не ⁽⁴⁾ было применение высокоразрешающего масс-спектрометра МВ-2302, работавшего в статическом вакуумном режиме и оснащенного счетчиком ионов СИ-03. Ионные токи Не и остаточного фона основных органических радикалов полностью разделялись.

Ионный ток ^{22}Ne частично интерферировал с током CO_2^{2+} . Но благодаря наличию в области ионного источника охлажденной (-196°C) трубки с активированным углем, вклад CO_2^{2+} был менее 0,5% от интенсивности ^{22}Ne . Величину этого вклада контролировали по ионному току CO_2^+ . Ионные токи изотопов Ag и соответствующих органических радикалов были полностью разделены.

Количество Ne определяли сравнением величин ионных токов от образца и известного заранее количества эталона — атмосферного Ne (⁴). Нормализацию изотопного состава Ne в породах проводили также по атмосферному Ne.

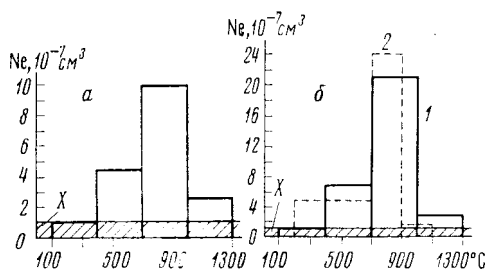
Часть образцов была проанализирована методом ступенчатого изотермического отжига. «Холостой опыт» соответствовал $(5-10) \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ Ne}$.

Обнаруженное в сэдберитах высокое содержание Ne (табл. 1) не может быть объяснено загрязнением в опытах атмосферным Ne: в некоторых тем-

пературных фракциях количество Ne в 5–10 раз превышает «холостой опыт»; температура выделения Ne из сэдберитов высока (рис. 1); воспроизводимость результатов достаточно хорошая (см. табл. 1).

В сравнении с атмосферным Ne в неоне из сэдберитов обнаружен избыток ^{21}Ne . Обогащение ^{21}Ne ранее отмечалось в радиоактивных минералах (⁴⁻⁷). В природных газах существует корреляция между содержанием Ne и избытком ^{21}Ne (⁸⁻¹⁰), объясняемая ядерной реакцией $^{18}\text{O}(\alpha, n)^{21}\text{Ne}$ в U- и Th-содержа-

Рис. 1. Выделение Ne при изотермическом отжиге. а — из сэдберита № 27; б — из минеральных фракций сэдберита 649^a. 1 — кордиерит, 2 — хлорит, X — величина «холостого опыта»



щих минералах и последующей миграцией Ne и Ne из минералов в природные газы (¹⁰).

При захвате подобных газов кристаллизующимися минералами в них может попасть и Ne с избытком изотопа ^{21}Ne .

По крайней мере часть ^{21}Ne в сэдберитах имеет именно такое радиогенное происхождение ($^{21}\text{Ne}_{\text{рад}}$ в табл. 1). При расчете количества $^{21}\text{Ne}_{\text{рад}}$ в первом приближении принимали, что в сэдберитах не радиогенный $^{21}\text{Ne} = 0,0288 \text{ }^{22}\text{Ne}$. Поэтому приведенные в табл. 1 величины $^{21}\text{Ne}_{\text{рад}}$ — минимальные. Действительный же избыток ^{21}Ne может быть еще больше, так как часть ^{22}Ne также может быть радиогенного происхождения: $^{19}\text{Fe}(\alpha, n)^{22}\text{Na} \xrightarrow{\beta^+} ^{22}\text{Ne}$ (^{5, 10}). Даже минимальные величины $^{21}\text{Ne}_{\text{рад}}$ более чем в 10 раз превышают те количества, которые могли накопиться в сэдберитах в соответствии с имеющимся в них количеством U и Th.

В сэдберитах впервые для земных объектов обнаружены завышенные, в сравнении с атмосферой, изотопные отношения $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ вплоть до 10,7 (в атмосфере 9,85). Иными словами, в сэдберитах присутствует Ne с повышенной атомной концентрацией изотопа ^{20}Ne .

В тех же образцах (табл. 1) найдена еще одна аномалия — избыток ^{36}Ar , в 10–20 раз превышающий «холостой опыт» по Ar. Выделение большей части ^{36}Ar только при $T > 700^\circ\text{C}$ доказывает отсутствие воздушного Ar, адсорбированного на поверхности минералов. Соотношение $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ во всех образцах близко к атмосферному соотношению.

Для объяснения избытка ^{20}Ne и ^{36}Ar в сэдберитах возможны следующие гипотезы:

1. Ядерное происхождение изотопов in situ. Пока неизвестны ядерные процессы, которые могли бы привести к накоплению ^{20}Ne и ^{36}Ar в сэдберитах in situ. Гипотеза о существовании трансурановых эле-

ментов требует дополнительного предположения о механизме генерации ^{20}Ne и ^{36}Ar . Нет экспериментальных данных, кроме избытка изотопов благородных газов, свидетельствовавших бы в пользу этой гипотезы.

2. Захват кристаллизующимися сэдберитами сильно фракционированных атмосферных газов. Подобным процессом можно было бы объяснить аномалию изотопного состава Ne , если бы в сэдберитах не был обнаружен Ar с изотопным соотношением $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$, соответствующим атмосферному (т. е. одновременно — и первичному). Хотя процессы природного фракционирования могут изменить изотопный состав благородных газов ⁽¹¹⁾, невероятно фракционирование одного только Ne и полное отсутствие фракционирования Ar . Экспериментальные данные (рис. 2) свидетельствуют против гипотезы фракционирования.

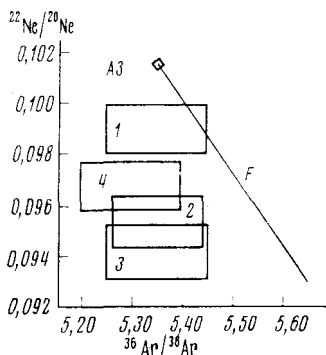


Рис. 2

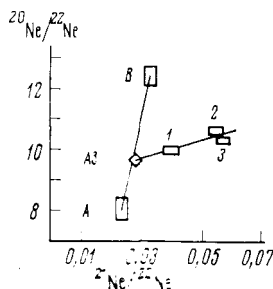


Рис. 3

Рис. 2. Изотопный состав Ne и Ar сэдберита № 27^a (1), хлоритовой (2) и кордиеритовой (3) фракций сэдберита 649^a и хлорита из сэдберита XIII (4). F — линия фракционирования по массам ($A3$ — атмосфера Земли)

Рис. 3. Изотопный состав Ne различного происхождения: B — солнечный. A — планетарный, $A3$ — атмосферы Земли; 1 — сэдберита № 27^a, 2 — хлорита из сэдберита XIII, 3 — кордиеритовой и хлоритовой фракций из сэдберита 649^a

3. Захват кристаллизующимися сэдберитами неона древней атмосферы Земли. С момента образования Земли происходила эволюция изотопного состава земной атмосферы от первичного до современного ($^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}=9,85$). Изотопный состав первичного Ne неизвестен. Первичный Ne Земли, вероятно, представлял собой смесь двух компонентов: солнечного Ne «типа В», характерного для всех богатых газами метеоритов, лунной пыли и брекчий, и планетарного Ne «типа А», присутствующего углистым хондритам ^(12–14). За время существования Земли к первичному Ne был добавлен радиогенный компонент: смесь $^{21}\text{Ne}_{\text{рад}}$ и $^{22}\text{Ne}_{\text{рад}}$, генерированных в породах и перешедших в атмосферу при их дегазации. Следовательно, в первичном Ne изотопное отношение $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ было больше, чем в Ne современной атмосферы ($\text{Ne}A3$). Отношение $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ в первичном Ne было меньше, чем в Ne современной атмосферы, так как экспериментальная точка $\text{Ne}A3$ лежит справа от линии AB на рис. 3.

Расположение экспериментальных точек сэдберитов на рис. 3 показывает, что гипотеза о захвате кристаллизующимися сэдберитами одного только Ne древней атмосферы Земли не может быть принята. Во-первых, необъяснимо различие в изотопном составе Ne разных образцов. Во-вторых, нахождение экспериментальных точек и точки Ne современной земной атмосферы почти на одной прямой — свидетельство того, что Ne сэдберитов представляет собой смесь Ne , близкого по изотопному составу современному атмосферному, с Ne иного происхождения. Последний не может быть «чистым» Ne древней атмосферы или первичным Ne Земли: в нем, как отмечалось выше, слишком высокое отношение $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$.

4. Захват кристаллизующимися сэдберитами первичного и радиогенного Не. Вероятно, сэдбериты захватили неон древней атмосферы, образовавшейся ранее. Источником такого Не могли быть древние осадочные породы, способные (¹⁵) сорбировать атмосферные газы. При внедрении Мончегорского плутона в эти породы атмосферные газы могли быть захвачены кристаллизующимися сэдберитами. По-видимому, изотопный состав Не этой древней атмосферы не сильно отличался от современного.

Одновременно сэдберитами были захвачены также различные количества Не, представляющего собой смесь глубинного первичного Не (повышенные значения $^{23}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$) и радиогенного Не (повышенные значения $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$).

Таким образом, обнаруженное аномально высокое значение изотопного отношения $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ в сэдберитах Мончегорского плутона может быть объяснено присутствием первичного Не.

В первичном Не Земли $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne} \geq 10,7$. Следовательно, радиогенная добавка в атмосферном ^{22}Ne не менее чем 8,5%.

Институт геологии и геохронологии докембрия
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
7 III 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. К. Герлинг и др., Геохимия, № 10 (1967). ² Э. К. Герлинг и др., Геохимия, № 5 (1974). ³ К. К. Жиров и др., ДАН, т. 207, № 5 (1972). ⁴ В. Б. Шариф-Заде и др., Геохимия, № 3 (1972). ⁵ G. W. Wetherill, Phys. Rev., v. 96, № 3 (1972). ⁶ D. D. Ewing et al., J. Geophys. Res., v. 70, № 3 (1965). ⁷ Ю. А. Шуклюков и др., Атомная энергия, т. 31, в. 5 (1971). ⁸ L. Stroud et al., Bur. of Mines, Report of Investigations, № 6336 (1967). ⁹ Ю. А. Шуклюков и др., Геохимия, № 4 (1973). ¹⁰ Ю. А. Шуклюков и др., Геохимия радиогенных и радиоактивных изотопов, Л., «Наука», 1974, стр. 5. ¹¹ B. Krumenacher, Earth and Planet. Sci. Lett., v. 8, № 2 (1970). ¹² Ю. А. Шуклюков, Л. К. Левский, Геохимия и космохимия изотопов благородных газов. М., Атомиздат, 1972. ¹³ O. C. Black, Geochim. et cosmochim. acta, v. 36, № 3, (1972). ¹⁴ E. Mazor et al., Geochim. et cosmochim. acta, v. 34, № 7 (1970). ¹⁵ R. A. Canals, J. Geophys. Res., v. 73, 10 (1968).