

УДК 546.26

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ИСЛАНДИИ

Э. М. ГАЛИМОВ, В. И. ГЕРАСИМОВСКИЙ

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского
АН СССР, Москва*

Исследован изотопный состав восстановленной формы углерода в магматических породах Исландии. Применена методика, позволяющая исключить влияние на результат контаминирующего углерода. Выявлен широкий диапазон вариаций $\delta^{13}\text{C}$ в эффузивах от $-2,45$ до $-3,26\%$. Связь между изотопным составом углерода породы и ее химическим составом, а также петрографической характеристикой не установлена. Анализ распределения пород различного изотопного состава по площади показывает определенную территориальную приуроченность пород, аномально обедненных изотопом ^{13}C . Делается вывод о том, что выплавки магматических пород происходили из неоднородного источника, а эффузивы основного и кислого состава, формировавшиеся одновременно, являются продуктами дифференциации общего исходного вещества.

Интерпретация данных по изотопному составу углерода изверженных пород представляет известную проблему. Она имеет два аспекта. Во-первых, рассеянный углерод изверженных пород заметно отличается по изотопному составу от углерода коры в среднем. Последний, как было показано [1], имеет значение $\delta^{13}\text{C}$ в пределах от $-0,3$ до $-0,8\%$; этот диапазон характеризует изотопный состав летучих, выделившихся при дегазации мантии и образовавших весь углерод коры. Рассеянный углерод в восстановленной форме, присутствующий в магматических породах обычно в концентрации $0,005-0,05\%$, обеднен изотопом ^{13}C . Для него типичны величины $\delta^{13}\text{C}$ от $-2,2$ до $-2,8\%$ [1-6]. Во-вторых, изотопный состав углерода магматических пород показывает удивительное отсутствие связи с петрографической характеристикой пород. Породы ультраосновные, основные и кислые (в разной степени щелочные) попадают в один и тот же диапазон вариаций $\delta^{13}\text{C}$ эффузивных и интрузивных пород.

Относительно причины обедненности изотопом ^{13}C восстановленного углерода изверженных пород имеется несколько версий. Одна из них состоит в том, что существуют две формы углерода мантии, отличающиеся по изотопному составу и обусловившие две линии эволюции земного углерода [1]. Первая дала начало избыточным летучим, вторая — выносилась в кору только непосредственно в составе магматических пород. Другим объяснением, которое в силу ряда соображений представляется менее вероятным, является фракционирование изотопов углерода в процессе отторжения летучих в мантии [7]. Наконец, наблюдаемое распределение изотопов углерода в летучих компонентах и в остаточном расплаве, очевидно, можно получить в результате переплавления осадочных пород. Действительно, рассеянный углерод исследованных гранитов, часть из которых безусловно является палингенной, обеднен изотопом ^{13}C в той же степени, что и другие изверженные породы, в том числе основные. Объяснение на этой основе обедненности изотопом ^{13}C рассеянного углерода магматических пород в целом тождественно признанию того, что доступные нам сегодня дериваты мантии, включая ультраосновные породы (которые также обеднены изотопом ^{13}C), несут вещество, уже испытавшее осадочный цикл. Вообще говоря, это не представляется

невероятным, хотя подобная постановка вопроса требует, конечно, всеобъемлющего анализа геологических и геохимических данных. Дальнейшего развития требуют и исследования изотопного состава углерода магматических пород.

В этой связи было уместно изучить вулканические породы Исландии. Во-первых, потому что они представляют продукт магматизма срединно-океанического типа, что исключает по крайней мере непосредственное включение в них континентального корового вещества. Во-вторых, эффузивная серия весьма разнообразна по составу. Присутствуют практически все петрографические разности — от базальтов до риолитов. Редко встречаются и интрузивные породы — габбро и гранофиры.

Мы сочли также целесообразным видоизменить методику исследования изотопного состава рассеянного углерода по сравнению с принятой в предшествующих работах. Дело в том, что в отношении выведенных на поверхность изверженных пород, содержащих углерод в низкой концентрации, всегда имеется опасность контаминации их экзогенным материалом. Углеродистые вещества могут попадать в поры и микротрещины пород в результате инфильтрации поверхностных вод, несущих органические соединения, занесения в породы микроорганизмов. Понятно, что аллохтонный углерод менее прочно связан с породой, чем углерод, включенный в минералы в процессе их кристаллизации. Поэтому мы использовали следующую методику. Тонко измельченную породу смешивали с избыточным количеством V_2O_5 особой чистоты, предварительно обработанного нагревом в токе кислорода. Затем лодочку с образцом помещали в металлический реактор, выполненный из безуглеродного сплава с вакуумноплотным вентилем. Реактор заполняли чистым кислородом, и образец прогревали в течение 2 час при температуре $500^\circ C$. Возможные органические контаминанты при этом окисляются. После удаления их путем откачки температуру поднимали до $1100^\circ C$ и производили завершающее окисление образца. Выделившуюся двуокись углерода очищали от воды, закиси азота и двуокиси серы принятыми способами [8] и анализировали. Такая методика была ранее применена при исследовании изотопного состава углерода лунного реголита, доставленного космическими станциями «Луна-16 и -20» [9].

Изотопный состав углерода измеряли на масс-спектрометре Varian-Mat-230. Инструментальная погрешность не превышала $\pm 0,01\%$. Результаты анализа представлены в процентах по отношению к стандарту *PDB*.

Образцы породы обрабатывали предварительно соляной кислотой с целью удаления карбонатного углерода. Карбонатность образцов оказалась весьма низкой, недостаточной для изотопного анализа.

Полученные данные сведены в таблицу. Величина $\delta^{13}C$ представляет собой среднее из трех определений, каждое из которых включает полную процедуру подготовки и анализа образца породы. Значения $\Delta^{13}C$ характеризуют максимальную величину отклонения результатов отдельных определений от среднего значения. Обработка полученных данных показала следующее.

Исследованные образцы магматических пород Исландии в целом обеднены изотопом ^{13}C , т. е. относятся к диапазону значений $\delta^{13}C$ менее $-2,0\%$. В этом отношении они сходны со всеми другими исследованными до сих пор изверженными породами.

В то же время два обстоятельства отличают их: а) довольно широкий диапазон вариаций значений $\delta^{13}C$ — от $-2,31$ до $-3,67\%$, б) сдвигнутость величин $\delta^{13}C$ в сторону несколько меньших значений, чем это обычно отмечается для изверженных пород.

Распределение изотопных составов, представленное в виде гистограммы, имеет характерный вид (рис. 1). Большинство образцов попадает в диапазон значений от $-2,3$ до $-2,85\%$. В этом интервале распределение имеет почти гауссовский характер.

Изотопный состав углерода и содержание SiO₂, Na₂O, K₂O и C в породах Исландии, %

№ п.п.	Образец, №	Порода	Местонахождение	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C _{расc} *	δ ¹³ C	Δ ¹³ C
1	11 904	Базальт	Терстарейкир	49,55	1,35	0,055	0,015	-2,62	±0,06
2	11 898	»	»	49,40	1,45	0,055	0,031	-2,65	±0,02
3	12 623	»	Келлинггарфьёльд	48,90	1,66	0,23	0,020	-2,85	±0,05
4	12 687	»	Торвайёкудль	46,40	2,22	0,55	—	-3,32	±0,12
5	12 687	»	»	46,10	2,22	0,55	0,007	-2,64	±0,15
6	12 208	»	Фауксрудс-Фьорд	45,60	2,15	0,414	0,030	-2,63	±0,05
7	12 210	»	»	48,30	1,78	0,260	—	-2,67	±0,05
8	12 020	»	Снайфьёльнес	45,85	1,67	0,79	0,032	-2,67	±0,05
9	12 017	»	»	48,50	2,88	0,81	0,02	-2,54	±0,04
10	12 436	»	Хеймаэй	48,10	3,40	0,79	0,003	-2,45	±0,09
11	12 443	»	»	47,20	3,32	0,79	0,003	-2,50	±0,03
12	11 841	Андезито-базальт	Мивагн	56,65	2,61	0,69	0,018	-2,55	±0,01
13	12 625	Андезит	Келлинггарфьёльд	63,00	3,24	1,56	0,013	-2,59	±0,05
14	12 670	Андезито-базальт	Торвайёкудль	53,30	2,92	0,87	0,078	-3,68	±0,01
15	11 964	Габбро	Сетберг	47,20	2,14	0,33	0,041	-2,62	±0,03
16	12 071	»	Хёбн	45,80	2,28	0,454	0,003	-2,35	±0,10
17	12 072	»	Весторхордн	47,00	2,07	2,256	0,035	-2,31	±0,10
18	11 830	Дациг	Мивагн	64,25	3,09	1,05	0,053	-2,59	±0,01
19	12 663	»	Торвайёкудль	67,50	—	—	0,022	-3,15	±0,03
20	12 621	Риолито-дацит	Келлинггарфьёльд	69,10	3,39	2,42	0,020	-3,14	±0,05
21	12 618	»	»	72,40	3,55	3,27	0,005	-2,50	±0,03
22	12 399	»	Торвайёкудль	69,00	3,89	3,64	0,032	-2,56	±0,02
23	11 918	Риолит	Терстарейкир	78,60	3,12	2,28	0,004	-2,66	±0,10
24	11 860	Обсидан (риолит)	Мивагн	74,30	3,18	2,27	0,038	-2,72	±0,02
25	12 619	Риолит	Келлинггарфьёльд	73,50	3,66	3,26	0,064	-3,69	±0,02
26	12 660	»	Торвайёкудль	73,10	3,68	3,69	0,031	-3,29	±0,01
27	12 213	»	Фауксрудс-Фьорд	73,70	2,99	3,83	0,009	-2,60	±0,05
28	12 234	»	»	74,10	3,35	2,96	0,017	-2,59	±0,05
29	11 863	Гранофир	Мивагн	74,20	3,02	2,21	0,024	-2,69	±0,05
30	12 056	»	Хёбн	74,75	3,28	3,77	0,051	-2,53	±0,01

* Рассеянный углерод в восстановленной форме.

Вместе с тем несколько образцов резко отклоняется в сторону меньших значений $\delta^{13}\text{C}$.

В ряду от основных пород к кислым не удается обнаружить какую-либо корреляцию с изотопным составом углерода. В частности, к числу образцов, аномально обедненных изотопом ^{13}C , относятся базальт, андезитобазальт, дацит и риолит. Среди кислых пород встречается несколько больше образцов, обедненных изотопом ^{13}C , однако, не в такой степени,

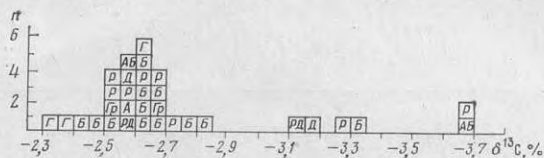


Рис. 1. Гистограмма распределения изотопных составов анализированных пород Исландии

Б — базальт; АБ — андезитобазальт; А — андезит; Д — дацит; РД — риолито-дацит; Р — риолит; Г — габбро, Гр — гранофиры

чтобы усмотреть в этом закономерную тенденцию. Значимая связь между $\delta^{13}\text{C}$ и содержанием SiO_2 отсутствует (рис. 2).

Сопоставление величины $\delta^{13}\text{C}$ с содержанием щелочей также не обнаруживает зависимостей (рис. 3 и 4).

Концентрация восстановленной формы углерода в исследованных породах колеблется от 0,005 до 0,78%. Между содержанием углерода и его изотопным составом связи нет, хотя два образца с наиболее высоким содержанием углерода одновременно более других обеднены изотопом ^{13}C (рис. 5).

Магматические породы Исландии представлены в основном породами эффузивной серии, но встречаются, хотя и редко, интрузивные. Было исследовано несколько образцов габбро, давших в среднем $\delta^{13}\text{C} = -2,49\%$, против средней величины $\delta^{13}\text{C} = -2,69\%$, характерной для базальтов. Точно так же среди кислых пород интрузивные разности несколько обеднены изотопом ^{13}C по сравнению с их эффузивными аналогами: гранодиориты дали $\delta^{13}\text{C} = -2,61\%$, против $\delta^{13}\text{C} = -2,91\%$ для риолитов. Однако это наблюдение, по-видимому, не является значимым, так как сопоставляемые породы относятся к разным участкам территории острова, а местоположение, как мы увидим, является в данном случае более сильным фактором.

На рис. 6 указаны районы отбора исследованных проб. На территории Исландии выделяются три стратиграфических комплекса эффузивов [10]. В центральной части плейстоцен-голоценовые вулканические породы образуют зону меридионального простирания, отвечающую рифтовой зоне Исландии и характеризующуюся современным вулканизмом. Эта зона обрамляется областью развития плиоцен-эоплейстоценовых платобазальтов (3—0,2 млн. лет). В периферической части острова распространены миоцен-плиоценовые платобазальты (16—3 млн. лет). Толща их мощностью 10 км содержит многочисленные дайки и мелкие интрузивные тела габбро и гранофиров [11].

Анализ распределения изотопного состава по площади показывает, что породы, аномально обедненные изотопом ^{13}C , характерны только для двух участков: Кедлинггарфьедль и Торвайёкудль. Оба упомянутых участка находятся в центральной части острова и принадлежат к району распространения молодых вулканических пород рифтовой зоны.

Подобная территориальная приуроченность дает основание полагать, что аномальная обедненность части исследованных образцов изотопом ^{13}C не является результатом локального фракционирования изотопов, обусловленного какими-то случайными особенностями процесса формирования породы.

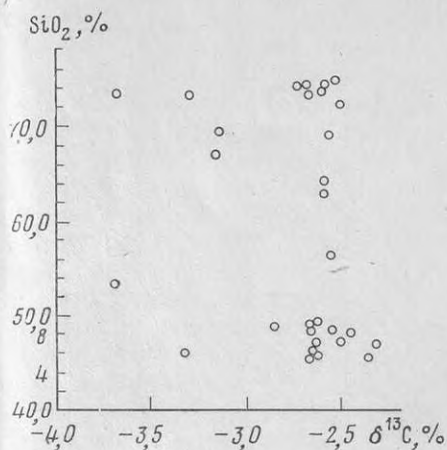


Рис. 2

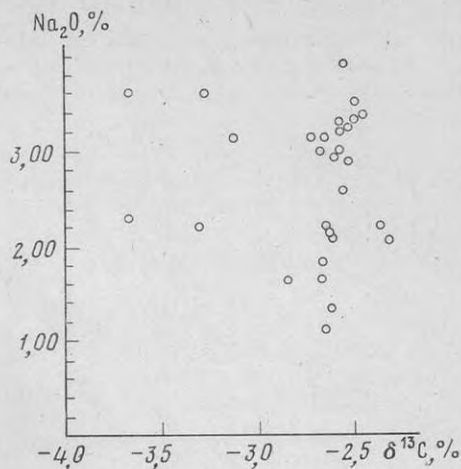


Рис. 3

Рис. 2. Диаграмма $\delta^{13}\text{C}$ — SiO_2 исследованных пород Исландии

Рис. 3. Диаграмма $\delta^{13}\text{C}$ — Na_2O исследованных пород Исландии

Рис. 4. Диаграмма $\delta^{13}\text{C}$ — K_2O исследованных пород Исландии

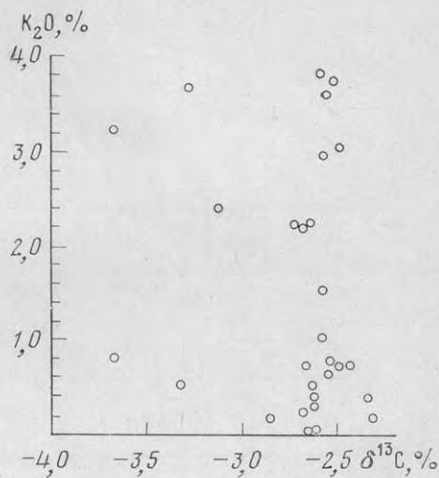


Рис. 4

Вероятно, распределение изотопов, характерное для породы Кедлинггарфьёдль и Торвайёкудль, следует рассматривать как признак проявления на этих участках особой изотопической легкой фации вулканических пород. Эта фация характеризуется изотопным составом углерода, выра-

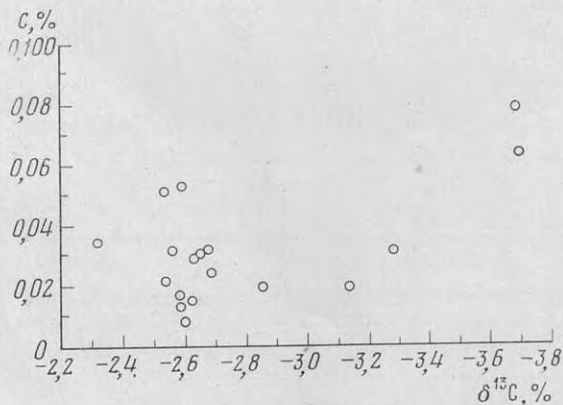


Рис. 5. Диаграмма $\delta^{13}\text{C}$ — C исследованных пород Исландии

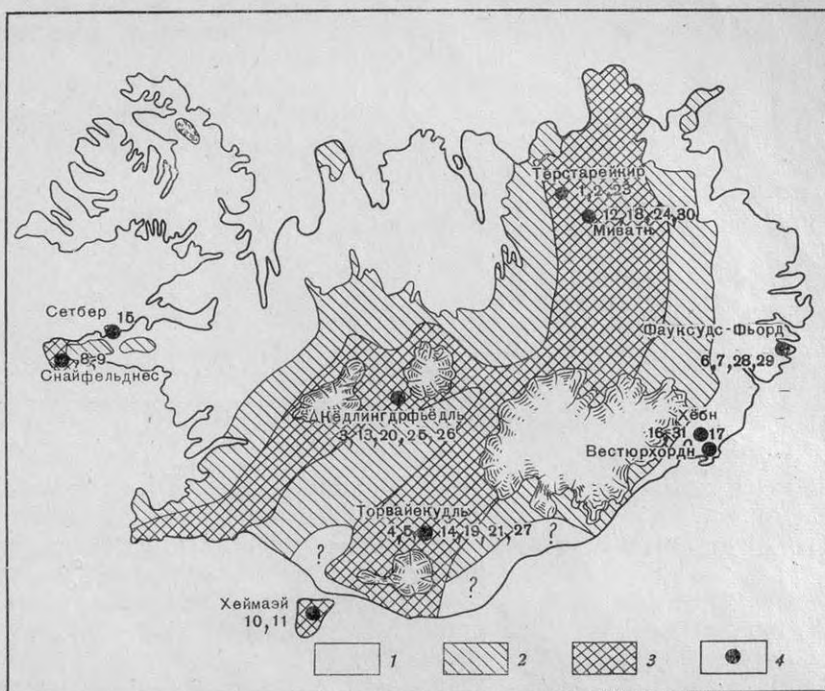


Рис. 6. Геолого-тектоническая схема Исландии [10]

1 — породы старше 3 млн. лет; 2 — породы моложе 3 млн. лет; 3 — породы моложе 0,7 млн. лет; 4 — места взятия проб для анализа

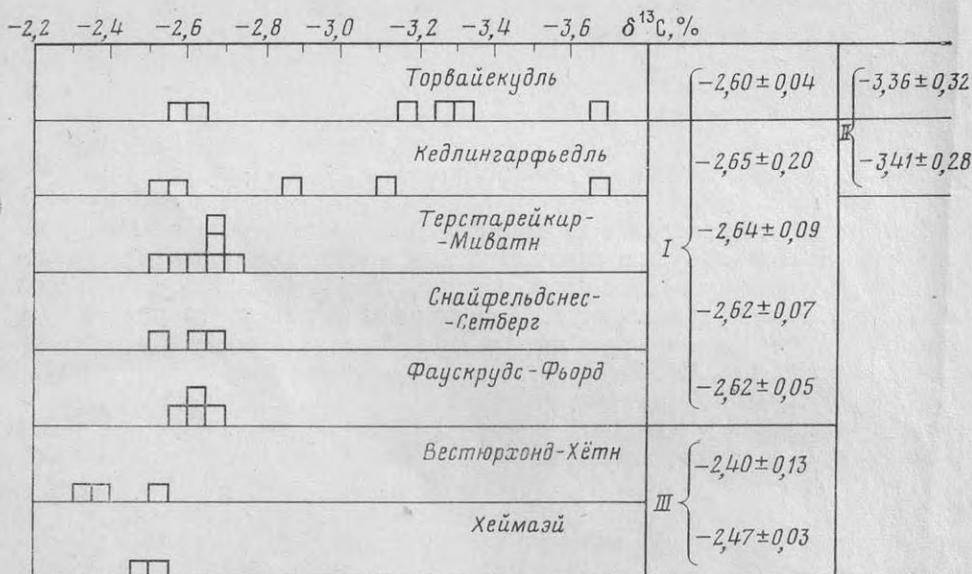


Рис. 7. Средние величины изотопного состава углерода исследованных участков Исландии

жаемым средней величиной $\delta^{13}\text{C} = -3,4\%$ ($-3,36\%$ на участке Торвай-ёкудль и $-3,41\%$ на участке Кедлинггарфьёдль). Одновременно на этих участках присутствуют породы, относящиеся к нормальной фации, характеризующейся средними величинами $\delta^{13}\text{C} = -2,65\%$ для района Кедлинггарфьёдль (рис. 7).

Из рис. 7 видно, что средние величины $\delta^{13}\text{C}$ между $-2,60$ и $-2,65\%$ характеризуют породы еще трех исследованных участков: Терстарейкир-Миватн, Снайфельдснес-Сетберг и Фаусрудс-Фьорд, которые относятся к разным возрастным генерациям. По-видимому, можно выделить отдельно группу пород, относящихся к районам Вестюрходн-Хёбн и Хеймаэй, относительно обогащенных изотопом ^{13}C .

Разделение изотопов углерода в процессе дифференциации магматического расплава мало вероятно. Против этого говорит и отсутствие связи изотопного состава с петрографической характеристикой пород. Поэтому, если наблюдаемое распределение изотопов углерода в породах Исландии обусловлено наличием отличающихся по изотопному составу фаций, то из этого следует, что: 1) выплавки магматических пород происходили из неоднородного источника и 2) породы как основного, так и кислого состава, поскольку они принадлежат к одной и той же фации, являются продуктами дифференциации общего исходного вещества.

Авторы благодарят В. Г. Коваленкер за подготовку образцов для анализа.

Поступила в редакцию
24 марта 1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галимов Э. М. Геохимия, № 5, 1967.
2. Трофимов А. В. Докл. АН СССР, т. 85, № 1, 1952.
3. Крейг Г. В кн.: Изотопы в геологии, Изд-во иностр. лит., М., 1954.
4. Hoefs I. Contr. Mineraland Petrol., v. 41, № 4, 1973.
5. Fuex A. N., Bakker D. R. Geochim. et cosmochim. Acta, v. 37, № 11, 1973.
6. Галимов Э. М., Петерсилье И. А. Докл. АН СССР, т. 182, № 1, 1968.
7. Виноградов А. П., Кропотова О. И. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 11, 1968.
8. Галимов Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода. «Недра», М., 1968.
9. Галимов Э. М. В кн.: Грунт из материкового района Луны. «Наука», 1978.
10. Palmason G., Sæmundsson K. Iceland in relation to the Mid-Atlantic ridge. Ann. Rev. Earth and Plan., v. 2, 1974.
11. Герасимовский В. И., Поляков А. И., Кригман Л. В., Несмеянова Л. И. Геохимия, № 7, 1974.

CARBON ISOTOPE OF THE ICELAND MAGMATIC ROCKS

E. M. GALIMOV, V. I. GERASIMOVSKY

V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
USSR Academy of Sciences, Moscow

Isotopic composition of reduced form of carbon was studied in the Iceland magmatic rocks. The technique was applied which permits to exclude the contaminated carbon influence upon the obtained results. A broad diapason of δC^{13} variation was revealed: from $-2,45$ to $-3,26$. Correlations between isotope composition of carbon of the rock, the bulk chemistry of the rock, and petrographic characteristics were not revealed. Analysis of spatial distribution of rocks having different isotopic composition within the area of investigation indicates on certain localization of the rocks which are anomalously poor in C^{13} . The conclusion was made that these magmas derived from the inhomogeneous source and that basic and acid effusives, which were formed simultaneously, are the products of differentiation of common primary material.