Доклады Академии Наук СССР
1952. Том LXXXV, № 1

ГЕОХИМИЯ

А. В. ТРОФИМОВ

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 7 V 1952)

Два геохимических процесса крупного масштаба ведут к ощутимой дифференциации изотопов углерода в природных объектах. Первый процесс — фотосинтез, при котором из углекислоты воздуха или океана растениями преимущественно захватывается легкий углерод C^{12}. В результате происходит преимущественное (по сравнению с CO_2 воздуха и океана) накопление легкого изотопа в растениях и во всех органических продуктах, генетически связанных с растительным веществом. Второй процесс — осаждение минеральных карбонатов в океане, при котором в осадок увлекается преимущественно тяжелый изотоп углерода C^{13}.

Таким образом, возникают две группы углеродсодержащих минералов и пород с максимальным различием изотопного состава углерода. В первую входят все органогенные углеродистые «концентраты» — битумы, нефти, угли и т. п., имеющие высокое значение отношения $C^{12} : C^{13}$. Вторую — «тяжелоуглеродную» — группу образуют, главным образом, известняки и доломиты, в нее входят также все другие карбонатные минералы. Изотопное отношение $C^{12} : C^{13}$ для этой группы имеет наименьшее значение; в среднем оно на 3—4% ниже, чем для минералов первой группы — «легкого углерода».

Очевидно, что такая большая дисперсия изотопного состава углерода на Земле — явление вторичное, создавшееся в результате жизнедеятельности организмов. Первичный углерод Земли, из которого образовались современные соединения его, должен был быть более однородным по составу, особенно если в прошлом Земли существовала огненно-жидкая стадия ее эволюции.

О составе первичного углерода Земли у нас нет никаких данных и в доступной нам части земной коры трудно найти объект, который содержал бы только такой первичный углерод, не измененный вторичными процессами прохождения его через жизненные циклы ([1]).

До сих пор состав углерода определялся лишь в природных объектах с большим содержанием углерода. Вторичное образование таких объектов всегда вероятно — даже если им приписывается магматическое происхождение. По этой причине изотопный состав магматических карбонатов, графитов и алмаза, определенный Мэрфи ([2]) и Ниром ([3]), недостаточен для характеристики первичного углерода.

Можно предположить, что углерод, рассеянный в таких породах, как базальты или изверженные граниты, ближе по своему составу к исходному первичному углероду Земли, чем углерод магматических «концентратов» его.

В связи с этим нами были сделаны масс-спектральные определения изотопного состава всего углерода, выделенного из магматических пород различного типа, взятых из месторождений, для которых ассимиляция ими вторичных осадочных материалов считалась геологически мало вероятной.

Методика определения отношения $C^{12}:C^{13}$ в породах слагалась из: 1) сожжения растертой в порошок породы (10—50 г) в токе кислорода при 800—900° и собирания выделяющейся CO_2 в форме $BaCO_3$ и 2) масс-спектрального определения изотопов CO_2, выделенной из карбоната бария пирофосфорной кислотой в вакууме. При анализах отношение ионных пиков масс 44 и 45 всегда сравнивалось с таким же отношением стандартного газа (CO_2). Вероятная ошибка такого сравнительного определения $C^{12}:C^{13}$ была около 0,3%. Валовое содержание углерода в породах определялось ориентировочно. Только порфириты выделяются высоким содержанием углерода. В остальных породах углерода очень мало; поэтому перед их сожжением трубка с навеской эвакуировалась для удаления оклюдированных газов.

В табл. 1 приведены полученные результаты. Изотопные отношения $C^{12}:C^{13}$ таблиц приведены к «современному» абсолютному уровню. Для этого были сделаны сравнительные анализы углекислоты из 9 образцов известняков и доломитов путем сравнения их изотопных пиков с тем же стандартным газом. Среднее отношение $C^{12}:C^{13}$ карбонатов было принято равным 90 : 1. Это значение весьма близко к истинной абсолютной величине изотопного отношения, как это следует из недавних определений Нира ([4]), сделанных им с помощью масс-спектрометров, градуированных по искусственным эталонным смесям изотопов аргона.

Таблица 1

Углерод магматических пород

Породы	Валовой углерод в %	$C^{12}:C^{13}$
Андезит, Камчатка, современный . .	0,002	92,2
Габбронорит, Сев. Урал, девон . . .	0,008	92,4
„ „ „ „ . . .	0,005	91,9
Базальт, Казбек, третичный	0,002	92,0
„ Алгетский (Армения) . . .	0,012	92,5
„ Камчатский, серый, плейстоцен	0,018	92,3
Базальт, Камчатка, черный, миоцен	0,006	92,4
„ Приморье, четвертичный	0,05	91,6
Гранит, Лезняки, протерозой	0,006	92,4
„ Емельяновка, в. протерозой	0,009	92,3
„ Карлахти, в. протерозой . .	0,009	91,8
Гранитогнейс, Сартовала, архей . .	0,067	91,9
Сиенит, Армения, третичный	0,004	91,9
Среднее . . .		92,1±0,5
Порфирит, Наманган, верхнепермск.	0,37	91,2
„ Приморье, из сланцев пермо-карбона	0,61	91,4
Общее среднее		92,0

В табл. 2 приведены сводные средние результаты наших определений отношения $C^{12}:C^{13}$ в карбонатах, а также в некоторых других объектах, имеющих отношение к круговороту углерода. Прежние дан-

ные по углероду метеоритов ([5]), приведенные к новому абсолютному уровню, также помещены в табл. 2.

Таблица 2

Средний состав углерода в разных объектах

Объекты	Число образцов	Колебания $C^{12}:C^{13}$	Среднее $C^{12}:C^{13}$
Известняки и доломиты	9	89,6—90,6	90,0
Кальциты разного генезиса	6	89,8—90,8	90,1
Углекислота вулканических газов (Камчатка)	1	—	90,8
Метеориты	39	90,9—93,1	91,95
Магматические породы	13	91,6—92,5	92,1
Асфальты и асфальтиты	3	91,6—92,8	92,2
Нефти	5	92,6—93,6	93,2

Обращает на себя внимание сравнительно большая однородность состава углерода, рассеянного в базальтах и гранитах. Исследованные образцы изверженных пород различаются между собой по величине отношения $C^{12}:C^{13}$ не более, чем на 1%.

Только порфириты, для которых загрязнение осадочным материалом более вероятно, характеризуются и большим содержанием углерода и его сравнительной отяжеленностью. Углерод вулканической углекислоты еще больше приближается по составу к углероду карбонатов, явно обнаруживая свое родство с ними.

Отношение $C^{12}:C^{13}$ для изверженных пород оказывается столь высоким, что частично заходит в область значений, характерных для битуминозных осадков. Это показывает сравнение данных табл. 1 с данными Мэрфи и Нира ([2]): приведенные к нашему уровню значения $C^{12}:C^{13}$ этих осадков колеблются между 92,4 и 93,5. Это «захождение» затрудняет — если не исключает вовсе — применение изотопного критерия для доказательства органогенности углерода в древнейших осадочных породах, как это делает, например, финский геолог Ранкама ([6]). Пользуясь этим критерием формально, углерод базальтов и гранитов также нужно было бы признать органогенным.

Если же считать, что в базальтах и подобных им породах содержится углерод, близкий по составу к первичному углероду Земли, то из приведенных данных можно сделать два вывода.

1. Совпадение среднего состава углерода метеоритов и «первичного» углерода изверженных пород является добавочным и уточненным подтверждением генетического единства вещества Земли и метеоритов.

2. Принимая состав углерода нефтей и битумов ([2]) близким к среднему составу органогенного углерода Земли, можно приближенно вычислить соотношение масс карбонатного и органического углерода в земной коре из соотношения

$$M_к q_к = M_о q_о,$$

где M и $M_о$ — массы карбонатного и органического углерода, а $q_к$ и $q_о$ — отклонения изотопного отношения $C^{12}:C^{13}$, соответственно, карбонатного и органического углерода от «первичного». Отсюда отношение $M_к : M_о \approx 1{,}2$. Этот результат вполне согласуется с ориентировочными выводами В. И. Вернадского ([1]) о преобладании органического углерода над карбонатным в земной коре.

Правда, точность такого изотопного подсчета соотношения масс $M_к : M_о$ в земной коре невелика. Углерод верхней оболочки Земли в

большей своей части образовался из газообразной углекислоты и поэтому среднее $C^{12} : C^{13}$ для него может быть заметно ниже, чем для базальтов. Небольшая же ошибка в среднем первичном значении $C^{12} : C^{13}$ земной коры резко влияет на результат вычисления.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского
Академии наук СССР

Поступило
3 V 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. И. Вернадский, Очерки геохимии, М., 1934. [2] B. F. Murphey and A. O. Nier, Phys. Rev., **59**, 771 (1941). [3] A. O. Nier and E. A. Guldransen, J. Am. Chem. Soc., **61**, 697 (1939). [4] A. O. Nier, Phys. Rev., **77**, 789 (1950). [5] А. В. Трофимов, Метеоритика, в. 8 (1950). [6] K. Rankama, Bull. Geol. Soc. Am., **59**, 389 (1948).