

Э. К. ГЕРЛИНГ, Н. Е. ТИТОВ и Г. М. ЕРМОЛИН
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ K -РАСПАДА K_{40}

(Представлено академиком В. Г. Хлопиным 21 VII 1949)

В работе, выполненной Э. К. Герлингом и Н. Е. Титовым (1) в 1948 г., было показано, что K_{40} не только является β -излучателем, но что он распадается также путем K -захвата, образуя при этом аргон с массой 40. Однако константа K -захвата, вычисленная из найденного содержания радиоактивного аргона, количества калия и возраста исследованного сильвина с Соликамского месторождения, оказалась примерно в 30 раз меньше той константы K -распада, которая была установлена Блейлером и Габриелем (2) подсчетом рентгеновских квантов, излучаемых калиевыми солями.

Чтобы выяснить это расхождение, нами было предпринято исследование по определению содержания калия и аргона в минералах известного геологического возраста, на основании которых, как мы полагали, можно будет рассчитать более точное значение для константы K -распада K_{40} . Кроме исследованного ранее сильвина с Соликамского калийного месторождения, возраст которого равен $200 \cdot 10^6$ лет, нами были исследованы карналлит с того же месторождения, два образца нефелинов, из Хибин и из тундры Африканда, и один образец очень древнего микроклина из Северной Карелии. Возраст этих минералов нам был точно известен на основании геологических данных и возрастных значений, полученных по свинцовому и гелиевому методам на других минералах этих интрузий. Для этих минералов были сделаны определения содержания калия и аргона. Кроме того, выделенный из них аргон исследовался еще на масс-спектрометре.

Учитывая, что полное выделение аргона может быть достигнуто только при разрушении кристаллической структуры исследуемого минерала, для извлечения аргона применялась следующая методика. Образцы сильвина и карналлита в количестве около 1 кг растворялись в воде, из которой предварительно был удален аргон кипячением. Описания аппаратуры и методики извлечения были даны нами ранее (1). Образцы нефелина в количестве 100 г растворялись в соляной кислоте уд. веса 1,10, также предварительно обезгаженной. Извлечение производилось в той же аппаратуре. Из микроклина аргон извлекался при нагревании его в высокочастотной печи до температуры плавления (1400°) (3).

Для определения содержания калия был применен хлороплатиновый метод. Масс-спектрометрические определения изотопного состава аргона были сделаны только для первых трех минералов, приведенных в табл. 1, так как только из них нам удалось извлечь достаточное для такого исследования количество аргона. Здесь следует указать, что для определения изотопного состава аргона, выделенного из нефелина из тундры Африканда, в нашем распоряжении было всего несколько сотых долей куб.

сантиметра аргона, а поэтому ошибка в определении изотопного отношения Ar_{40}/Ar_{36} здесь достигает $\pm 20\%$.

Во всех трех случаях отношение Ar_{40}/Ar_{36} было больше, чем для атмосферного аргона. В аргоне, извлеченном из сильвина, Ar_{36} вовсе не удалось установить. Для карналлита это отношение оказалось в 10 раз больше, чем в атмосферном аргоне. В качестве примера на рис. 1 приведены масс-спектры аргона из воздуха и извлеченного из карнал-

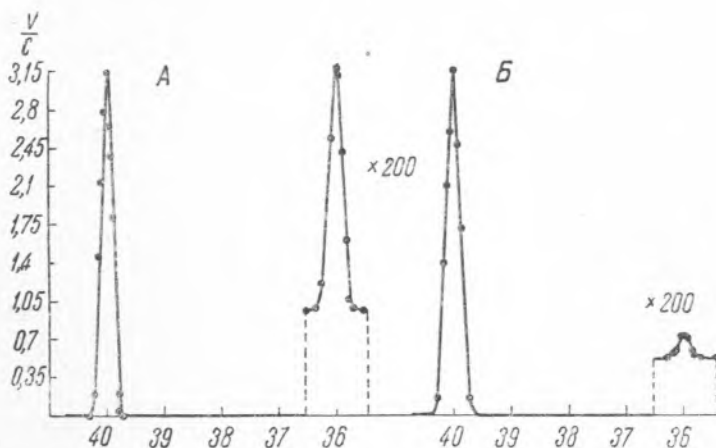


Рис. 1. А — Ar из воздуха, $Ar_{36} = 0,34\%$. Б — Ar из карналлита, $Ar_{36} = 0,03\%$

лита. Присутствие массы 36 в аргоне, извлеченном из некоторых исследованных нами минералов, говорило о наличии в них нерадиоактивного аргона. Количество нерадиоактивного аргона вычиталось из общего найденного количества (табл. 1). При этих вычислениях нами сделано допущение, что нерадиоактивный аргон, содержащийся в минералах, имеет тот же изотопный состав, что и воздушный аргон в настоящее время.

В последнем столбце табл. 1 приведены вычисленные значения константы K -распада для двух различных констант β -распада. Из табл. 1 видно, что для хибинского нефелина получено несколько большее значение константы K -распада Ar_{40} , что и понятно, так как в этом образце не учтено содержание нерадиоактивного аргона. При выводе среднего значения константы K -распада величина, найденная для хибинского нефелина, не принималась во внимание. В газе, выделенном из микроклина, также не удалось сделать поправку на содержание нерадиоактивного аргона, однако здесь, благодаря большому возрасту минерала ($1,7 \cdot 10^9$ лет) и значительному содержанию калия, эта поправка не имеет существенного значения.

В среднем из четырех определений мы получили для константы K -распада значение, равное $(6,1 \pm 1,2) \cdot 10^{-11}$ год $^{-1}$, которое будет достаточно точным, если за время существования минералов не произошло значительного ухода аргона.

Уход аргона из минералов вызван перемещением его по межкристаллическому пространству кристаллов. Такое перемещение совершается скачками из одной элементарной ячейки в другую и связано с определенными значениями энергии активации атомов твердого тела и аргона, называемой также теплотой диффузии. Чем большее значение принимает теплота диффузии, тем меньше вероятность перемещения.

Из опытов по определению теплот диффузии гелия из минералов (4) известно, что при некоторых значениях теплот диффузии перемеще-

Таблица 1

Название минерала и местонахождение	Содерж. Ar в мл при t° и 760 мм в 1 г	Содерж. радиоакт. Ar ₄₀ в 1 г	Содерж. K в 1 г	Возраст в 10 ⁸ лет	$\frac{m \text{ Ar}_{40}}{m \text{ K}_{40}}$	λ K-распада K ₄₀	
						при $\lambda_{\beta} = 3,9 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1} (t) = 5,1 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1} (t^{\circ})$	при $\lambda_{\beta} = 6,6 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$
Сильвин, Соликамск	$4,76 \cdot 10^{-4}$	$4,76 \cdot 10^{-4}$	0,5244	200	0,0135	$6,6 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$	$6,6 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$
Карналлит, Соликамск	$1,57 \cdot 10^{-4}$	$1,41 \cdot 10^{-4}$	0,2025	200	0,0104	$5,0 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$
Нефелин, Африканда	$2,06 \cdot 10^{-4}$	$0,86 \cdot 10^{-4}$	0,0418	350 (6)	0,030	$8,0 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$	$8,0 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$
Нефелин, Хибины	$0,99 \cdot 10^{-4}$	не опред.	0,0446	283 (7)	0,032	$1,07 \cdot 10^{-10} \text{ г}^{-1}$	$1,07 \cdot 10^{-10} \text{ г}^{-1}$
Микроклин, Карелия	$8,7 \cdot 10^{-4}$	»	0,1130	1700 (8)	0,116	$4,65 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$	$4,1 \cdot 10^{-11} \text{ г}^{-1}$

ние гелия так затруднено, что в минералах может быть гарантирована полная сохранность гелия в течение всего геологического времени их существования. К сожалению, определить экспериментально теплоту диффузии аргона в микроклин и других минералах нам не удалось. Однако, исходя из опытов по выделению аргона из микроклина при нагреве его до 1200°, все же можно было качественно оценить значение теплоты диффузии для микроклина.

Результаты этих опытов приведены в табл. 2, из которой видно, что при 8-часовом нагреве при 1200° удается выделить всего 76% аргона, включенного в минералы. Неполное выделение аргона в таких условиях указывает на то, что перемещение аргона в межкристаллическом пространстве микроклина связано с большим значением теплоты диффузии, а поэтому следует считать, что основное количество аргона сохранилось в минерале. С другой стороны, известно, что потеря гелия полевыми шпатами (5), к которым относится микроклин, в среднем составляет 70%. Для аргона, однако, здесь следует ожидать гораздо меньших потерь, так как атомный радиус аргона более чем в 1,5 раза больше радиуса атома гелия, а поэтому перемещение аргона по микрокристаллическому пространству микроклина должно быть связано с гораздо большим значением теплоты диффузии. Учитывая изложенное, нужно думать, что количество потерянного микроклином аргона не превышает 20—30%.

Из исследованных нами минералов микроклин имеет наименее плотное строение по сравнению с другими, которые относительно более плотно упакованы. Исходя из этого, перемещение аргона в других исследованных нами минералах должно быть связано с большим значением теплоты диффузии, чем для межкристаллического пространства микроклина, и количество потерянного ими аргона должно быть еще меньше. Как видно из данных табл. 1, для сильвина, карналлита и нефелина получены несколько большие значения константы K-распада K₄₀. Учитывая все изложенное, нужно считать, что ошибка в определении константы K-распада K₄₀ вряд ли превышает 20%. Если это так, то определенная Блейлером и Габриелем константа K-распада, равная $1,9 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$,

Таблица 2

Выделение Аг из микроклина при 1200°

	Время в часах			Всего за 8 час. нагрева
	2	4	6	
Аг _{ср} в см ³	4,1·10 ⁻⁴	1,37·10 ⁻⁴	1,16·10 ⁻⁴	6,63·10 ⁻⁴
% выд. Аг	47,1	15,7	13,4	76,2

неправильна, и обнаруженное ими мягкое рентгеновское излучение следует в основном связать с β -распадом.

Когда мы кончали нашу работу, нам стали известны данные Олдрича и Нира (11) по содержанию аргона в калиевых минералах. Эти исследователи получили в среднем меньшее значение константы K -распада K_{40} . Полученные ими малые значения константы K -распада K_{49} можно объяснить тем, что примененный ими метод нагрева минералов несколько выше 1000° для извлечения из них аргона не мог обеспечить полного выделения этого газа из микроклина и ортоклаза. На лангбейните ими было получено значение, которое довольно хорошо согласуется с нашими данными, что и понятно, так как лангбейнит плавится при 950°, и здесь должно было иметь место полное выделение аргона.

Следует также отметить, что отношение Аг₄₀/К₄₀ растет с возрастом минералов. Следовательно, это отношение может быть положено в основу абсолютного летоисчисления. Мы надеемся, что в ближайшем будущем нам удастся разработать этот новый метод определения возраста.

В заключение считаем нужным выразить глубокую благодарность проф. С. М. Курбатову за предоставленные для исследования образцы минералов.

Поступило
21 VII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. К. Герлинг и Н. Е. Титов, Изв. АН СССР, ОХН, № 2 (1949).
² E. Bleuler и M. Gabriel, Helvetica Physica Acta, 20, 67 (1947). ³ Э. К. Герлинг, Тр. Радиов. ин-та, 4, 322 (1938). ⁴ Э. К. Герлинг, ДАН, 24, № 6 (1939).
⁵ N. V. Reevil, A. W. Jolliffe and E. S. Larsen, Am. Journ. Sci., 240, No. 3, 204; 240, № 12, 831 (1942). ⁶ Э. К. Герлинг, Л. В. Комлев, В. Г. Баркани и М. Э. Ермолаева, ДАН, 31, № 8 (1941); Э. В. Герлинг и И. Е. Старик, ДАН, 35, № 5 (1942). ⁷ Л. В. Комлев и Э. К. Герлинг, ДАН, 26, № 9 (1940). ⁸ В. Г. Хлопини и М. Е. Владимирова, Изв. АН СССР, сер. хим., № 2, 499 (1938). ⁹ L. V. Borst and J. J. Feloyd, Phys. Rev., 74, No. 8, 981 (1948).
¹⁰ T. Graf, Phys. Rev., 74, No. 7 (1948). ¹¹ L. T. Aldrich and A. O. Nier, Phys. Rev., 74, No. 7 (1948).