

Э. К. ГЕРЛИНГ, Г. М. ЕРМОЛИН, Н. В. БАРАНОВСКАЯ и Н. Е. ТИТОВ

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АРГОНОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА МИНЕРАЛОВ

(Представлено академиком А. А. Полкановым 17 VII 1952)

После того как k -распад K^{40} был окончательно доказан ⁽¹⁾ и была определена константа k -захвата K^{40} двумя совершенно различными методами ⁽²⁾, можно было попытаться применить эту новую радиоактивность для определения возраста калиевых минералов по скопившемуся в них за геологическое время радиогенному аргону.

С этой целью для определения возраста был взят ряд калиевых минералов, как, например, микроклин, амазонит, лепидолит и др. Возраст интрузий, с которыми были связаны исследованные нами минералы, во многих случаях был известен на основании данных гелиевого или свинцового методов. Это позволило нам результаты, полученные по аргоновому методу, непосредственно сравнить с данными других методов.

Для выяснения возраста исследуемого минерала необходимо, с одной стороны, знать содержание аргона, а с другой — количество калия в нем. Определение калия в минералах было выполнено обычным химическим методом. Определение аргона производилось на приборе конструкции В. Г. Хлопина и Э. К. Герлинга ⁽³⁾. Метод выделения основан на длительном нагревании навески минерала до 1250°C в кварцевой трубе, присоединенной к измерительной части прибора при помощи шлифа. Нагрев минерала продолжали до полного прекращения выделения аргона, на что уходило от 8 до 20 час. При этой температуре некоторые из исследованных минералов плавятся. Предварительными опытами было установлено, что аргон из воздуха не диффундирует в заметных количествах через нагретое до 1300°C кварцевое стекло. Выделенный таким образом аргон очищался обычным путем от других как химически деятельных, так и инертных газов и, наконец, измерялся в манометре Мак-Леода.

Полученные нами данные приведены в табл. 1. Содержание K^{40} вычислено из отношения $K^{40}/K = 1,2 \cdot 10^{-4}$.

Вычисления возраста производились по формуле:

$$\frac{m \text{ Ar}}{m K^{40}} = \frac{\lambda_\beta}{\lambda_\beta + \lambda_k} (e^{(\lambda_\beta + \lambda_k)t} - 1), \quad (1)$$

где $m \text{ Ar}$ и $m K^{40}$, соответственно, количества Ar и K^{40} в граммах на 1 г минерала. Для вычисления содержания K^{40} мы исходили из установленного Ниром отношения $K^{40}/K = 0,012 \cdot 10^{-2}$. $\lambda_\beta = 4,9 \cdot 10^{-10}$ год⁻¹ — константа β -распада K^{40} ; $\lambda_k = 6,1 \cdot 10^{-11}$ год⁻¹ — константа

k -распада K^{40} . Эта формула учитывает не только k -распад ядра K^{40} , но и его β -распад.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что отношение Ar/K^{40} растет с возрастом исследованных минералов.

Вычисленные по этим отношениям возрастные значения совпали, в пределах точности опыта, с результатами гелиевого и свинцового методов. Для трех проб аргона нами были сделаны масс-спектрометрические определения изотопного состава, причем во всех случаях, наряду с большим содержанием Ar^{40} , было найдено очень незначительное количество Ar^{36} . Масс-спектрограммы аргона, извлеченного из лепидолита и амазонита, соответственно, приведены на рис. 1 и 2. Для сравнения на тех же диаграммах нанесен масс-спектр воздушного аргона. Незначительное содержание Ar^{36} в аргоне, извлеченном из минералов, показывает, что основная масса этого газа, извлеченного

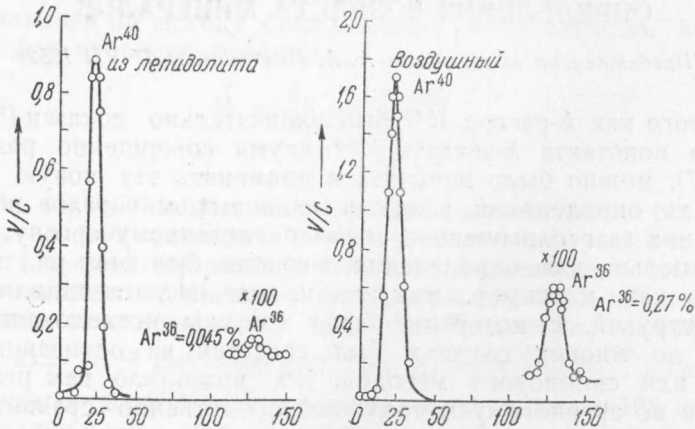


Рис. 1

из минералов, радиогенного происхождения, и только незначительная его часть не связана с радиоактивным распадом K^{40} .

Количество включенного в минерал нерадиогенного аргона может быть оценено следующим образом.

Допустим, что Ar^{36} попал в минерал вместе с Ar^{40} в соотношении, которое сейчас установлено для воздушного аргона. Тогда по найденному содержанию Ar^{36} можно вычислить и все количество нерадиогенного аргона и вычесть его из общего определенного нами количества. Результаты этих вычислений приведены в предпоследнем столбце табл. 1. В последнем столбце для трех минералов приведены исправленные значения их возраста, в котором учтен аргон нерадиогенного происхождения. Эта поправка, как видно из результатов, приведенных в таблице, для очень древних минералов не имеет существенного значения.

Однако, как справедливо отметил акад. А. А. Полканов, мало вероятно, чтобы в глубинную магму мог проникнуть аргон из атмосферы. Если это так, то поправка, введенная нами на содержание нерадиогенного аргона, возможно, и неправильна. Исходя из этого, можно думать, что количество Ar^{36} , найденное нами в минералах, является остатком первичного аргона с массой 36, захваченного магмой в то время, когда земля была еще в жидком состоянии. Ясно, что вместе с Ar^{36} должен был попасть в некотором количестве Ar^{40} . Это количество Ar^{40} , как нужно считать, было невелико, так как первичная атмосфера почти не содержала Ar^{40} или его в ней было

очень мало. Это положение подтверждается тем, что все количество Ar^{40} , находящееся сейчас в атмосфере, могло быть образовано за $3,35 \cdot 10^9$ лет, прошедших с момента образования земной коры, лишь за счет k -распада K^{40} , причем достаточно считать, что в накоплении аргона участвовал слой глубиной чуть меньше 20 км. Таким образом, $3,35 \cdot 10^9$ лет назад земная атмосфера была бедна аргоном с массой 40, а поэтому очень незначительные его количества могли раствориться в жидкой силикатной оболочке. Если придерживаться такого механизма проникновения Ar в магму, то поправку на содержание нерадиогенного аргона можно не вводить, как это и было сделано нами при первых вычислениях возраста.

Эти значения, как видно из табл. 1, в основном хорошо согласуются с данными гелиевого и свинцового методов, что также может служить указанием на то, что поправка на содержание нерадиогенного аргона невелика и поэтому существенного значения не имеет.

Суммируя все вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что k -радиоактивность K^{40} может быть использована для определения абсолютного возраста минералов. Пригодными для целей определения возраста оказались такие распространенные минералы, как калиевые полевые шпаты, хотя при дальнейших опытах были неоднократные случаи значительного расхождения возраста с геологическими данными. Для выяснения причин расхождения требуются дальнейшие общие исследования.

2. Предложенный нами метод необходимо усовершенствовать дальше, обратив также внимание на роль дополнительных факторов, влияющих на точность получаемых результатов.

3. Необходимо в первую очередь уточнить константы как k -распада K^{40} , так и его β -распада. Кроме того, следует определить растворимость аргона в расплавах различного типа, чтобы иметь возможность

Таблица 1

Минерал	Геологический возраст	Содержание K , г/г	Содержание K^{40} , г/г	Содержание Ar , см ³ /г	Содержание Ar г/г,	$\frac{Ar^{40}}{K^{40}}$	Возр. по Ar в 10^6 лет	Возраст по гелию или свинцовому методу в 10^6 лет	Содержание воздуха, Ar в см ³ /г	Возраст с поправк. на воздух, Ar
Амазонит	Юра	0,4413	$1,34 \cdot 10^{-5}$	$6,68 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-7}$	0,0090	147	130		
Нордмаркит	Пермь — мюрбин	0,0599	$0,72 \cdot 10^{-5}$	$5,92 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \cdot 10^{-7}$	0,0147	227			
Амазонит	Карбон	0,0922	$1,11 \cdot 10^{-5}$	$9,67 \cdot 10^{-5}$	$1,73 \cdot 10^{-7}$	0,0456	240	250	$1,77 \cdot 10^{-5}$	228
Лепидолит	Пермь — карбон	0,0813	$0,68 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-7}$	0,0180	275	250		
Амазонит	Нижний протерозой	0,1683	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$8,70 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$	0,1200	4330			
"	Нижний протерозой	0,0994	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$7,42 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-6}$	0,1120	4260			
"	Архей	0,0995	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$9,38 \cdot 10^{-4}$	$1,68 \cdot 10^{-6}$	0,1409	4490			
"	Архей	0,1074	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-6}$	0,1437	4510	1420	$0,68 \cdot 10^{-4}$	1190
"	Архей	0,0996	$1,19 \cdot 10^{-5}$	$9,61 \cdot 10^{-4}$	$1,72 \cdot 10^{-6}$	0,1440	4514	1420	$0,34 \cdot 10^{-4}$	1485

более точно учесть те количества аргона нерадиоогенного происхождения, которые могут раствориться в магме.

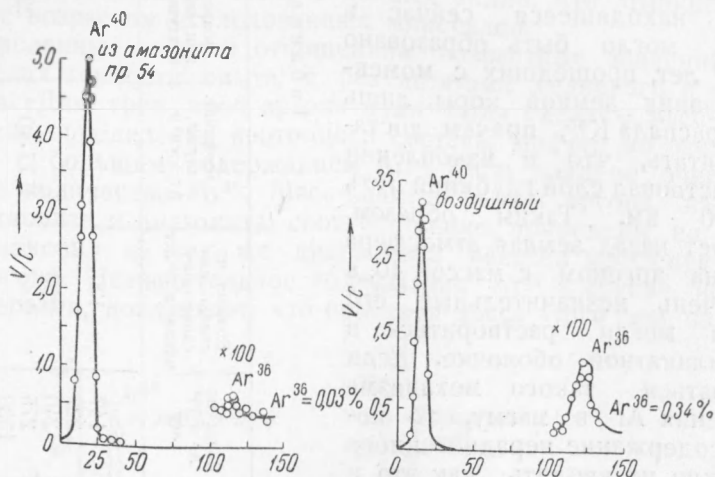


Рис. 2

4. Приведенные числовые величины возраста должны быть рассмотрены и утверждены Комиссией по возрасту АН СССР.

Поступило
27 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Э. К. Герлинг, Н. Е. Титов, Изв. АН СССР, ОХН, № 2 (1949); L. T. Aldrich, A. O. Nier, Phys. Rev., 74, 876 (1948). ² Э. К. Герлинг, Н. Е. Титов, Г. М. Ермолин, ДАН, 68, № 3 (1949); G. A. Sawyer, M. L. Wiedenbeck, Phys. Rev., 79, 490 (1950). ³ В. Г. Хлопин, Э. К. Герлинг, Сб. Природн. газы, в. 4—5 (1932). ⁴ A. Nier, Phys. Rev., 79, 490 (1950).