

РАДИОГЕОЛОГИЯ

Р. Х. Гукасян

**Определение абсолютного возраста молодых интрузивов
 Rb—Sr методом на примере Мегринского плутона
 Армянской ССР**

(Представлено академиком АН Армянской ССР К. Н. Паффенгольцем 29/XI 1962)

Важнейшим моментом определения абсолютного возраста геологических формаций калий-аргоновым методом является сохранность радиогенного аргона в минералах, так как при оценке возраста предполагается, что весь образовавшийся аргон в течение геологической истории минерала сохранился в кристаллической решетке и были исключены какие-либо его потери.

Различные наложенные геологические процессы, сопровождающиеся повышением температуры и перекристаллизацией (метаморфизм, явление метасоматоза и т. д.), могут вызвать потерю аргона, что, естественно, приводит к занижению возраста. Существуют многочисленные геологические критерии, которые следует использовать при оценке предположения о сохранности аргона. Однако не всегда возможно только геологическими данными однозначно решить вопрос сохранности радиогенного аргона в минерале. Более надежным доказательством этого является согласованность возрастов, полученная калий-аргоновым методом на различных геологически одновозрастных минералах. По мнению некоторых американских исследователей (¹), это является достаточно хорошим доказательством сохранности аргона в минерале, если при комнатной температуре не происходит диффузии аргона по кристаллической решетке минерала. Однако не всегда удается найти сосуществующие слюды, лучший материал для определения возраста магматических образований калий-аргоновым методом, а калиевые полевые шпаты, как правило, теряют часть своего радиогенного аргона (в среднем 25—30%) и, следовательно, дают заниженные результаты по сравнению со слюдой. Поэтому определения возраста калий-аргоновым методом желательно контролировать каким-либо другим методом.

Геохимическое родство калия и рубидия (рубидий изоморфно замещает калий в калиевых минералах) позволяет определить воз-

раст калиевых минералов двумя независимыми методами — К — Аг и Rb — Sr. Совпадение цифр возраста по этим двум методам будет наилучшим доказательством сохранности радиогенного аргона и надежности полученного значения возраста.

Rb — Sr метод определения возраста, предложенный В. М. Гольдшмидтом еще в 1937 году, получил большое распространение лишь в последние годы. Это было вызвано экспериментальными трудностями, с которыми связано точное определение малых количеств рубидия и стронция. Получение меченых атомов и появление метода изотопного разбавления значительно расширили аналитические возможности точного определения этих элементов, что послужило толчком для развития рубидий-стронциевого метода.

В связи с этим мы сделали попытку определить абсолютный возраст некоторых молодых (третичных) интрузивных пород Мегринского плутона Армянской ССР рубидий-стронциевым методом и сопоставить полученные данные с данными абсолютного возраста калий-аргонового метода. Объектом для этого исследования служили слюды из пегматитов щелочных пород Мегринского интрузивного комплекса, широко развитых в метаморфической толще палеозоя в районе сел. Шеачидзор. Исходя из общих геохимических принципов, пегматитовые слюды должны содержать мало обычного (нерадиогенного) стронция, что весьма важно при определении возраста этим методом. В одном случае определен возраст биотита из монцонитовых пород плутона района пос. Каджаран.

Содержание аргона определялось обычным объемным методом на приборе Хлопина—Герлинга. Доля радиогенного Ar^{40} в общем измеренном аргоне устанавливалась на масс-спектрометре типа МС-2 двухлучевым методом измерений. Содержание калия определялось химическим ускоренным перхлоратным методом, разработанным М. Л. Яценко и Э. С. Варшавской в лаборатории геологии докембрия АН СССР.

Содержание Rb^{87} и Sr^{87} определялось методом изотопного разбавления. В качестве индикаторов использовались растворы чистых солей RbCl и $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, соответственно обогащенные изотопами Rb^{87} и Sr^{84} . Титр этих растворов определялся как весовым путем, так и методом изотопного разбавления, с использованием в качестве стандартов растворов обычных солей рубидия и стронция с точно известной концентрацией. Химическая подготовка образца для масс-спектрометрических измерений подробно описана Э. К. Герлингом с сотр. (2) и Г. В. Овчинниковой (3). Измерение рубидия и стронция производилось на масс-спектрометре типа МИ-1305, однолучевым методом измерений. Для изотопного анализа рубидия использовался обычный одноленточный источник, вольфрамовая ленточка которого перед нанесением образца отжигалась в вакууме и проверялась на масс-спектрометре на отсутствие в ней рубидия. Для изотопного анализа стронция использовался двухленточный источник, одна из лент которого служила испарителем вещества, а другая ионизатором.

Полученные аналитические данные, необходимые для вычисления K—A и Rb—Sr возрастов, приведены в табл. 1 и 2. В табл. 2 приводится также содержание обычного Sr, процент радиогенного Sr^{87} от общего Sr и доля радиогенного Sr^{87} в суммарном Sr^{87} .

Таблица 1

№ обр.	‰ K	$\text{K}^{40} \text{ z/z} \cdot 10^{-6}$	$\frac{\text{Ar}^{40} \text{ радиог.}}{\text{Ar}^{40} \text{ суммар.}}$	$\text{Ar}^{40} \text{ рад. см/z} \times 10^{-6}$	$\text{Ar}^{40} \text{ рад. z/z} \times 10^{-9}$	$\text{Ar}^{40}/\text{K}^{40} \times 10^{-3}$
81	$8,16 \pm 0,08$	9,96	0,490	11,93		
	$8,16 \pm 0,08$	9,96	0,485	11,52		
	$8,16 \pm 0,08$	9,96	0,690	12,62		
				ср. $12,02 \pm 0,40$	21,50	2,16.
126—М	$8,41 \pm 0,09$	10,26	0,651	$11,55 \pm 0,46$		
	$8,41 \pm 0,09$	10,26	0,350	$12,60 \pm 0,63$		
				ср. $12,08 \pm 0,52$	21,60	2,11
125—Б	$7,51 \pm 0,08$	9,16	0,580	$11,25 \pm 0,60$	20,20	2,20.
125—М	$8,24 \pm 0,08$	10,05	0,325	$11,50 \pm 1,00$	20,60	2,05.
1	$7,25 \pm 0,07$	8,84	0,345	7,28		
	$7,25 \pm 0,07$	8,84	0,430	8,28		
	$7,56 \pm 0,08$	9,22	0,330	$7,87 \pm 0,61$		
				ср. $7,81 \pm 0,35$	13,96	1,55.

Ошибка определения радиогенного Ar^{40} складывается из ошибки объемного измерения всего аргона и ошибки масс-спектрометрической поправки на воздушный аргон. Ошибка масс-спектрометрической поправки сильно зависит от количества воздушного аргона в пробе. При содержании в пробе около 75‰ воздушного аргона эта ошибка достигает уже 12‰ (если $\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{36}$ отношение эталона измерено с точностью $\pm 1\%$, а образца с точностью $\pm 2,5\%$). При содержании радиогенного аргона-40 в пробе около 50‰ эта ошибка сравнительно небольшая — примерно $\pm 3,5\%$. Погрешность объемного измерения общего аргона составляет примерно $\pm 3\%$. Точность определения содержания калия в слюдах оценивается $\pm 1\text{—}1,5\%$. Общая ошибка определения возраста в среднем составляет $\pm 10\%$.

Таблица 2

№ обр.	Навеска в г		‰ Rb^{87}	Sr обыч. $\text{z/z} \times 10^{-6}$	‰ Sr^{87} рад. 10^{-5}	‰ Sr рад. от общ. Sr	$\frac{\text{Sr}^{87} \text{ рад.}}{\text{Sr}^{87} \text{ сумм.}}$
	для Rb	для Sr					
81	0,10	20,0	$0,0324 \pm 0,0004$	9,57	$2,10 \pm 0,25$	2,15	0,239
126—М	0,10	5,0	$0,0409 \pm 0,0005$	2,20	$2,30 \pm 0,16$	9,49	0,597
125—М	0,10	2,0	$0,0388 \pm 0,0004$	4,77	$2,10 \pm 0,13$	4,22	0,386
1	0,10	2,0	$0,0155 \pm 0,0002$	3,57	0,682	1,87	0,210

Оценка погрешности определения рубидия показала, что точность определения рубидия составляет около $\pm 1,5\%$. Что касается точности определения радиогенного Sr^{87} , то здесь ошибка возрастает с увеличением содержания обычного Sr в образце. Однако, как показала Г. В. Овчинникова (³), при работе методом изотопного разбавления при содержании радиогенного Sr^{87} около $0,5\%$ от общего Sr погрешность определения радиогенного Sr^{87} равна еще $\pm 15\%$. При содержании радиогенного Sr^{87} от общего Sr около 2% эта ошибка составляет всего $\pm 5-6\%$. Согласно Л. Калпу (¹), возвратные данные, полученные на образцах с большим содержанием обычного Sr , малонадежны, вследствие изменения изотопного состава Sr в природе. Указывая на то, что первоначальная изотопная распространенность Sr^{87} в гранитах и гранитных пегматитах за последние 3 млрд. лет, вероятно, изменилась на 3% , Л. Калп делает вывод, что в тех образцах, где содержание радиогенного Sr^{87} от общего Sr ниже 25% , колебания изотопного состава обычного Sr являются серьезным источником ошибок при определении радиогенного Sr^{87} . Как видно из табл. 2, в наших образцах содержание радиогенного Sr^{87} от общего Sr максимально достигает $9,49\%$ (обр. № 126—М), что значительно ниже указанного Калпом предельного значения. Однако здесь следует указать, что для молодых геологических образований эти колебания изотопного состава обычного Sr не могут быть источником больших погрешностей, так как при вычислении содержания радиогенного Sr^{87} используется изотопный состав современного стронция. Точность определения возраста по Rb-Sr методу составляет примерно $\pm 10\%$.

Вычисление возрастов производилось по формулам

$$t_{\text{K-Ar}} = \frac{1}{\lambda_e + \lambda_\beta} \ln \left(1 + \frac{\lambda_e + \lambda_\beta}{\lambda_e} \frac{\text{Ar}^{40}}{\text{K}^{40}} \right) \quad \text{и} \quad t_{\text{Rb-Sr}} = \frac{\% \text{ Sr}^{87} \text{ рад}}{\% \text{ Rb}^{87} \cdot \lambda},$$

где $\lambda_e = 5,5 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$ — константа электронного захвата K^{40}

$\lambda_\beta = 4,72 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ — константа β распада K^{40}

$\lambda = 1,39 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$ — константа β распада Rb^{87} .

Принятое нами значение λ_e получено Э. К. Герлингом (⁴) геохимическим методом и мало отличается от общепринятого в настоящее время значения $\lambda_e = 5,85 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$ (полагают, что это значение отличается от истинного значения в пределах $\pm 5\%$). Для вычисления количества K^{40} исходили из установленного Ниром отношения $\text{K}^{40} = 1,22 \times 10^{-4} \text{ г/г K}$ (весовые проценты). Значение константы распада Rb^{87} $\lambda = 1,39 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$ в настоящее время считается наиболее надежным. Это значение получено Олдричем, Везериллом и др. в 1956 году (⁵) геохимическим путем с помощью метода изотопного разбавления. В этом же году Хустером и Раушем (⁶) такое же значение получено непосредственно счетным методом. В 1959 году Г. В. Овчинниковой (³) получено значение $\lambda = 1,38 \times 10^{-11} \text{ год}^{-1}$, что хо-

...согласуется с предыдущими двумя определениями. Изотопная распространенность $Rb^{87} = 0,283 \text{ з/з } Rb$.

Полученные нами значения возраста сведены в табл. 3. Как видно из таблицы, значения возраста по двум методам, в пределах экспериментальной ошибки, находятся в замечательном согласии. Сходимость результатов, полученных этими двумя различными методами, является довольно убедительным доказательством отсутствия потерь как радиогенного аргона, так и стронция за время, истекшее с момента кристаллизации этих минералов. В противном случае, т. е. при наличии утечки, следовало ожидать, что скорости миграции таких совершенно различных атомов, как Ar^{40} и Sr^{87} , были бы различны.

Таблица 3

№	Название минерала	Место взятия	Возраст в млн. лет	
			K—Ar	Rb—Sr
81	Мусковит из турмалин-мусковитовых пегматитов	Западная окраина с. Шванидзор	39 ± 2	46 ± 5
126—М	Мусковит из нефелино-сиенитовых пегматитов	с. Шванидзор, разв. Тегут	38 ± 3	41 ± 3
125—Б	Биотит из биотит-мусковитовых пегматитов	" "	40 ± 3	—
125—М	Мусковит из биотит-мусковитовых пегматитов	" "	37 ± 4	39 ± 3
1	Биотит из монцонитов	пос. Каджаран, каменоломня	28 ± 3	31

Полученное значение возраста по многим шкалам геологического времени, в частности по шкале, принятой IX сессией комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций, соответствует верхнему эоцену, что указывает на верхнеэоценовый возраст начала формирования Мегринского плутона (первая фаза внедрения).

Первые результаты определения возраста третичных пород Мегринского плутона Rb—Sr методом показывают на принципиальную возможность применения этого метода для определения возраста молодых магматических образований.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить глубокую благодарность профессору Э. К. Герлингу и М. Л. Ященко за ценные советы, указания и помощь при выполнении настоящей работы, а также Дж. Мкртчян, принимавшей участие в химической обработке двух образцов.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Н. Н. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ

Երկրաբանական ինստիտուտի բաղադրակ հասակի որոշումը Rb—Sr մեթոդով Հայկական ՍՍՀ Մեղրու պլուտոնի օրինակով

Երկրաբանական ֆորմացիաների բաղադրակ հասակի որոշման K—Ar մեթոդի հիմնական հանգամանքներից մեկը ռադիոգեն արգոնի պահպանվածությունն է միներալների

մեջ, քանի որ հասակի զնահատման ժամանակ ենթադրվում է, որ K^{40} սաղխակաթիվ բաշխումից ստացւած արդոնք ամբողջութեամբ մնացել է միներալի բյուրեղական ցանցում: Տարբեր երկրաբանական պրոցեսներ՝ կապված ջերմաստիճանի բարձրացման և վերաբյուրեղացման հետ կարող են առաջ բերել, երբեմն նշանակալի չափի, արդոնի կորուստ, որը բնականորաբար հանդեպնում է հասակի ցածրացմանը: Գոյութեան ունեն երկրաբանական բնույթի մի շարք չափանիշներ, որոնք անհրաժեշտ է օգտագործել արդոնի պահպանվածութեան ենթադրութեանը զնահատելու ժամանակ: Սակայն, միայն երկրաբանական տվյալներով, միշտ չէ, որ հնարավոր է միարժեք որոշել սաղխոցեն արդոնի պահպանվածութեան աստիճանը միներալում: Այդ պատճառով էլ ցանկալի է և անհրաժեշտ, K —մեթոդով հասակի որոշումը վերահսկել հասակի որոշման մի սրեկ այլ մեթոդով: Կախված և սուբիդիումի գեոքիմիական մերձավորութեանը (սուբիդիումը իզոմորֆ տեղակալում է կալիումի մին կալիումային միներալներում) հնարավորութեան է տալիս կալիումային միներալների հասակը որոշել երկու անկախ մեթոդով՝ K — Ar և Rb — Sr : Բացարձակ հասակի որոշման Rb — Sr մեթոդը լայն տարածում է ստացել միայն վերջին տարիներում, որը կապված է նշակիր առումների ստացման և իզոտոպային խառնման մեթոդի երկան զարգացման հետ:

Ելնելով վերը նշվածից, փորձ է արված մի քանի երկատար (երրորդական հասակի) ինտրուզիվ ապառների K — Ar հասակը վերահսկել բացարձակ հասակի որոշման Rb — Sr մեթոդով: Առումնասիրութեան են ենթարկվել Մեզրու ինտրուզիվ կոմպլեքսի ալկալային ապառների պեգմատիտների փայլարները, որոնք լայն տարածում ունեն Շվանիձոր գյուղի շրջակայքի պալեոգոյան հասակի մետամորֆային ճերատախմբում: Համաձայն գեոքիմիական ընդհանուր սկզբունքների պեգմատիտային փայլարները պետք է պարունակեն քիչ սովորական (ոչ սաղխոցեն) ստրոնցիում, որը շատ կարևոր է Rb^{87} քայքայման արդյունքի՝ սաղխոցեն Sr^{87} աննշան քանակները մեծ ճշտութեամբ որոշելու համար:

Արդոնի որոշումը կատարվել է ծավալային մեթոդով Խլոպինի—Գերլինգի սարքավորման վրա: Մաղիոցեն արդոնի քանակը ընդհանուր արդոնի մեջ որոշվել է $MC-2M$ մասն-սպեկտրոմետրի միջոցով: Կալիումի քանակը որոշվել է պերիյուրատային մեթոդով:

Rb^{87} և Sr^{87} քանակութեանը որոշվել է իզոտոպային խառնման եղանակով $MM-130$ մասն-սպեկտրոմետրի միջոցով: Որպես ինդիկատորներ օգտագործվել են $RbCl$ և $Sr(NO_3)_2$ մաքուր աղեր, համապատասխանաբար հարստացված Rb^{87} և Sr^{84} իզոտոպներով:

Երկու մեթոդներով ստացված հասակի տվյալները, փորձի սխալի պայմաններում գտնվում են հիանալի համաձայնութեան մեջ, որը սաղխոցեն արդոնի պահպանվածութեան և ստացված թվերի հաստատութեան բավականին համոզեցուցիչ ապացույց է:

Ստացված թվերը, ըստ բացարձակ տարեթվարկման գեոքրոնոլոգիական մի շարք աղյուսակների, համապատասխանում են վերին էոցենին, որը քույր է տալիս Մեզրու ինտրուզիվ զանգվածի ձևավորման վերին էոցենային հասակը լեբզդումն առաջին ֆազի:

Մեզրու ինտրուզիվ զանգվածի օրինակով Rb — Sr մեթոդով երրորդական ժամանակաշրջանի ապառների հասակի որոշումը ցույց է տալիս, որ այդ մեթոդը սկզբունքորեն հնարավոր է կիրառել երկատար (մագմատիկ ֆորմացիաների) հասակը որոշելու համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ E. B. Gast. Дж. Л. Калл и Л. Е. Мюнг, Trans. Am. Geophys. Union, 39, 1958. ² Э. К. Герлинг, М. Л. Яценко, Л. К. Левский, Г. В. Овчинникова, Геохимия, № 6, 1958. ³ Г. В. Овчинникова, Геохимия, № 5, 1960. ⁴ Э. К. Герлинг, Геохимия, № 4, 1956. ⁵ Л. Т. Олдрич, Г. В. Везерилл, Г. Р. Тулмон, Г. Л. Девис, Phys. Rev., 103, 1956, стр. 1045—1047. ⁶ Л. Т. Олдрич и Г. В. Везерилл, Ann. Rev. Nuc. Sci., 8, 1958.