

Академик В. Г. ХЛОПИН и Э. К. ГЕРЛИНГ

**НОВЫЕ ДАННЫЕ В ГЕОХИМИИ ИНЕРТНЫХ ИЛИ  
БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ\***

Установленное нами (1) накопление тяжелых изотопов ксенона в древних урановых минералах и экспериментально определенное содержание ксенона в уранините из месторождения Черная Сальма в Северной Карелии позволили нам предложить и экспериментально проверить новый метод и формулу для определения возраста урановых минералов по отношению ксенона к урану в них. Эта формула имеет следующий вид:

$$t = \frac{1}{\lambda_{\alpha}} 2,30 \log_{10} \left[ \frac{\text{Xe}}{0,14 N_1 (\lambda_d / \lambda_{\alpha})} + 1 \right],$$

где  $\lambda_{\alpha}$  — постоянная  $\alpha$ -распада урана, равная  $1,52 \cdot 10^{-10}$  в год; Xe — количество ксенона, найденное в данной навеске минерала в атомах;  $N_1$  — количество урана, найденное в данной навеске минерала в атомах;  $t$  — геологический возраст минерала в годах;  $\lambda_d$  — постоянная спонтанного деления урана, равная  $5,1 \cdot 10^{-17}$  в год по Н. А. Перфилову (2).

Эта же формула может обратно служить для того, чтобы подсчитать, какое количество ксенона может накопиться в земной коре за геологическое время ее существования. В этом случае вместо  $t$  в формулу необходимо подставить возраст земной коры, равный  $2 \cdot 10^9$  лет, а вместо  $N_1$  — атомный кларк урана; тогда расчет дает атомный кларк ксенона, который мог бы образоваться за счет процесса самопроизвольного деления урана в земной коре. Расчет показывает, что количество ксенона, которое образовалось за счет этого процесса в земной коре за геологическое время ее существования, весьма значительно и составляет около 0,5% от общего содержания ксенона в земной коре, включая атмосферу со стратосферой, т. е. несколько десятков миллионов кубических метров ксенона образовалось таким путем. Это уже такие количества ксенона, с которыми в некоторых специальных случаях его геохимии приходится считаться.

Кроме ксенона, за счет процесса самопроизвольного деления урана происходит еще накопление в земной коре и другого инертного газа — криптона, однако выход криптона при делении урана значительно ниже (в 5—6 раз) выхода ксенона. Соответственно и общее количество криптона, которое могло накопиться в земной коре за счет самопроизвольного распада урана в ней, содержащегося за геологическое время ее существования, должно быть во столько же раз меньше, т. е. достигать едва  $1 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup>, что составляет соответственно

\* Доложено на конференции по геохимии в январе 1947 г.

сотые процента от общего количества криптона, содержащегося в земной коре, включая и атмосферу со стратосферой.

К тому, что сказано, необходимо еще добавить, что весьма вероятно, что и ксенон, и криптон, хотя это экспериментально в природных условиях пока еще не доказано, образуются и при самопроизвольном делении тория и, таким образом, при изучении их геохимии необходимо будет считаться еще и с этим дополнительным источником их постоянного образования; однако, если учесть, что скорость самопроизвольного распада тория еще почти на порядок меньше, чем скорость самопроизвольного распада урана, то количества ксенона и криптона, образующихся этим путем, тоже должны быть в несколько раз меньше, чем за счет самопроизвольного деления урана, и составлять лишь сравнительно небольшое добавление к тем количествам, которые образовались за счет самопроизвольного деления урана. Более или менее точно подсчитать эти количества пока не представляется возможным, так как пока еще не известна даже точная константа самопроизвольного деления тория.

Таким образом, при геохимии благородных газов в настоящее время приходится считаться еще и с другими природными ядерными процессами, кроме обычной радиоактивности, играющей, как известно, такую исключительную роль в геохимии гелия. Одним из таких ядерных процессов является процесс самопроизвольного деления урана и тория, приводящий к постоянному новообразованию двух благородных газов — ксенона и криптона — в значительных количествах. При этом необходимо подчеркнуть, что изотопический состав благородных газов, образующихся в земной коре за счет ядерных реакций, во всех случаях отличается от изотопического состава благородных газов атмосферы. Так например, гелий атмосферы и гелий газовых струй, как показали сначала Альварец и Корног<sup>(3)</sup> в 1939 г., содержат, кроме изотопа гелия с массой 4, еще и очень небольшую примесь гелия с массой 3. Для воздушного гелия содержание изотопа с массой 3 было определено Альварецом и Корногом в  $\text{He}^3/\text{He}^4 = 1 \cdot 10^{-7}$ , а содержание изотопа гелия с массой 3 в гелии газовых струй в  $\text{He}^3/\text{He}^4 = 1 \cdot 10^{-8}$ .

В 1946 г. в Радиевом институте, используя так же, как Альварец и Корног, циклотрон в качестве масс-спектрографа и применяя для регистрации частиц с массой 3 и 4 толстослойные фотопластинки, М. Мещеряков, Е. Григорьев, А. Реут и Т. Хренина установили, что в гелии, выделенном Э. К. Герлингом из уранинита, т. е. в гелии радиоактивного происхождения, совсем не содержится гелия с массой 3, или, вернее, что его содержание в гелии радиоактивного происхождения во всяком случае не меньше чем в 5000 раз ниже, чем в гелии из атмосферы, т. е.  $\text{He}^3/\text{He}^4 < 10^{-10}$  для гелия радиоактивного происхождения.

В то же время для содержания  $\text{He}^3$  в гелии из газовых струй Мельниковского месторождения была найдена величина  $\text{He}^3/\text{He}^4 = 6 \cdot 10^{-8}$ , если для атмосферы вместе с Альварецом и Корногом принять величину  $\text{He}^3/\text{He}^4 = 1 \cdot 10^{-7}$ . Если же для атмосферы принять более новую и точную цифру Нира<sup>(4)</sup>  $\text{He}^3/\text{He}^4 = 1 \cdot 10^{-6}$  ( $\text{He}^3/\text{He}^4 = 9 \cdot 10^{-5}$ ), то соответственно изменится, т. е. повысится содержание  $\text{He}^3$  и в природных газовых струях.

Очень интересно сделанное в 1946 г. в Радиевом институте открытие, что гелий радиоактивного происхождения и гелий подземных газовых струй имеют совсем различный изотопический состав. Это заставляет заново пересмотреть установившиеся в настоящее время представления о генезисе гелия газовых струй. Мы все в настоящее время принимаем, что гелий газовых струй радиоактивного происхождения. Теперь, на основании работ М. Г. Мещерякова с со-

трудниками и Э. К. Герлинга и М. Г. Мещерякова, выполненных в Радиевом институте в 1946 г., мы впервые имеем экспериментальное доказательство правильности ранее принимавшейся Мурё (5) гипотезы о двояком происхождении гелия — что гелий газовых струй представляет собой смесь гелия радиоактивного происхождения и гелия иного происхождения, относительно обогащенного изотопом с массой 3. Это следует из того, что содержание изотопа с массой 3 в гелии из газовых струй лишь немного ниже, чем содержание его в воздухе и, наоборот, для отношения  $\frac{\text{He}^2/\text{N}_2 \text{ в струях}}{\text{He}^3/\text{N}_2 \text{ в атмосфере}}$  мы получаем вели-

чину гораздо больше 1. Именно, для Мельниковского месторождения это отношение равняется 230, а для газов американских месторождений от 1200 до 1700, в то время как для отношения

$\frac{\text{Ar}/\text{N}_2 \text{ в струях}}{\text{Ar}/\text{N}_2 \text{ в атмосфере}}$  имеем всегда величину, близкую к 1. Это показы-

вает, что аргон и азот газовых струй — обычного воздушного происхождения, в то время как гелий с массой 3 невоздушного происхождения. Таким образом, новые данные об изотопическом составе гелия газовых струй вновь заставляют вспомнить о гипотезе, в свое время высказанной Мурё, что благородные газы и, в частности, гелий подземных газов атмосфер — первозданного или, как он выражается, астро-физического происхождения, т. е. были оклюдированы нашей планетой при ее формировании из первичной газовой атмосферы. Новые данные дают впервые некоторые экспериментальные основания для такой гипотезы, правда, с той существенной поправкой, что на основании их можно было бы высказать предположение, что не весь, а некоторая часть гелия подземных газовых атмосфер имеет первозданное происхождение в соответствии с гипотезой Мурё. В пользу такого представления говорили бы и вычисления Ресселя, показавшего, что средняя продолжительность пребывания атома гелия с массой 4 в атмосфере исчисляется в  $3 \cdot 10^7$  лет и, таким образом, основная часть  $\text{He}^3$  атмосферы должна была ее покинуть за геологическое время существования Земли. Надо думать, что атмосфера несколько сот миллионов, а тем более 2 миллиарда лет тому назад была гораздо богаче изотопом гелия с массой 3, чем в настоящее время. Поэтому, если к гелию радиоактивного происхождения был в силу каких-нибудь процессов в земной коре примешан гелий из атмосферы в отдаленные геологические периоды существования Земли, то такая смесь может иметь изотопический состав, соответствующий изотопическому составу гелия из газовых струй в настоящее время.

Однако, кроме только что высказанного предположения о генезисе части гелия, заключающегося в гелии подземных газовых атмосфер, можно высказать и другие предположения, а именно, можно предположить, что гелий с массой 3, содержащийся в нем, сам является продуктом каких-нибудь ядерных реакций, протекавших ранее или протекающих еще и в настоящее время в земной коре. В настоящее время такие ядерные реакции нам неизвестны, однако лишь дальнейшие экспериментальные исследования смогут решить вопрос о том, которому из двух высказанных предположений о генезисе изотопа гелия с массой 3 в гелии подземных газовых атмосфер следует отдать предпочтение.

Огромный интерес последних работ, проведенных в Радиевом институте, на которые мы здесь указывали, заключается в том, что они заставляют заново пересмотреть вопрос о происхождении гелия подземных газовых атмосфер и впервые, как нам кажется, убедительно показывают, как важно изучать геохимию не только отдельных элементов, но и их отдельных изотопов, так как только такое изучение

позволит правильно оценить роль различных процессов в геохимии элементов и правильно ее понять.

В заключение нам хотелось бы несколько остановиться на том, что нового в геохимию еще одного благородного газа — аргона — вносят работы последних лет по ядерным реакциям. Оказывается, и этот элемент может образовываться при некоторых ядерных реакциях. Это предположение, высказанное еще в 1937 г., экспериментально было доказано в 1943 г. Томсоном и Роулэндсом<sup>(6)</sup>, показавшими, что калий с массой 40, наряду с давно известной  $\beta$ -радиоактивностью, испытывает еще и радиоактивные превращения путем захвата электроном ядром атома с  $K$ -электронной оболочки, причем из калия с атомным весом 40 образуется изотоп аргона с массой 40. Эти авторы подсчитали и вероятность такого процесса по сравнению с известным процессом превращения  $K \rightarrow Ca$ . Эти расчеты, учитывая большую величину поглощения  $K$ -радиации в самой соли, не могут отличаться точностью. Тем не менее, такой расчет показал, что на одно  $\beta$ -превращение приходится примерно 3 превращения путем  $K$ -захвата. Если базироваться на этом расчете, то для периода  $T$  полураспада  $K$  в  $Ag$  с массой 40 мы получим величину  $6 \cdot 10^8$  лет. Напомним, что  $T$  для  $\beta$ -распада калия 40 равно  $1,8 \cdot 10^9$  лет. Если бы вероятность  $K$ -захвата для калия 40 была действительно так велика, как это следует из расчетов Томсона и Роулэнда, то таким путем за геологическое время существования земной коры должны были образоваться огромные количества аргона и роль этого процесса в геохимии аргона должна была бы быть очень велика.

Хотя пока нам и не известны какие-либо работы, которые доказывали бы и тем более количественно устанавливали накопление аргона с массой 40 в природных объектах, однако уже и теперь мы можем утверждать, что хотя процесс радиоактивного превращения калия 40 путем  $K$ -захвата и имеет место, как это убедительно доказано Томсоном и Роулэндсом, но вероятность этого процесса далеко не так велика, как это было подсчитано этими авторами. Это вытекает хотя бы из исследования А. А. Черепенникова<sup>(7)</sup> над газами, заключающимися в калиевых минералах Соликамского месторождения. Эти газы заметно не обогащены аргоном, чего следовало бы ожидать, если бы расчеты Томсона и Роулэнда были правильны.

Сейчас особенно важно было бы поставить систематические количественные исследования над составом газов, выделенных из богатых калием минералов различного геологического возраста, с целью дать окончательное доказательство накопления с течением времени в них аргона и притом аргона именно с массой 40 и, таким образом, дать возможность другим способом определить вероятность процесса  $K$ -захвата у калия и оценить роль этого процесса в геохимии аргона. Одновременно такого рода исследования привели бы еще к одному независимому методу определения абсолютного геологического возраста природных образований.

Такие работы поставлены в настоящее время в газовой лаборатории Радиевого института Академии Наук СССР.

Радиевый институт  
Академии Наук СССР

Поступило  
20 V 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Г. Хлопин, Э. К. Герлинг и Н. В. Барановская, Изв. АН СССР, ОХН, № 6, 600 (1947). <sup>2</sup> Н. А. Перфилов, ЖЭТФ, 17, 476 (1947). <sup>3</sup> L. W. Alvarez and R. Cornog, Phys. Rev., 56, 379, 613 (1939) <sup>4</sup> L. T. Aldrich and A. O. Nier, *ibid.*, 70, 983 (1946). <sup>5</sup> Ch. Moureu, Bull. Soc. Chim., (3), 29, 204 (1903); J. Chem. Phys., 9, № 1 (1913); Ann. des Mines, 5, № 5 (1914); J. Chem. Soc. (London), 123, 1905 (1923). <sup>6</sup> F. C. Thomson and S. Rowlands, Nature, 152, № 3847, July 24 (1943). <sup>7</sup> А. А. Черепенников, Докторская диссертация, ИАН, Л., 1945.