

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ В ГЕОХРОНОЛОГИИ

Ф.А. Хамидова, студент группы 10741,

научный руководитель: Деменкова Л.Г.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Превращение неустойчивых ядер в более устойчивые с выделением лёгких частиц (электронов, позитронов, α -частиц) и электромагнитного излучения называется радиоактивным распадом. Явление радиоактивности было открыто опытным путем французским ученым Анри Беккерелем в 1896 г. для солей урана. Существует несколько типов процесса радиоактивного распада:

- α -распад, когда выделяются α -частицы (ядра атома гелия);
- β^- -распад с выделением электронов;
- β^+ -распад, при котором выделяются позитроны;
- β^- -электронный захват, при котором электроны не выделяются, а захватываются.

Все естественные и искусственные радиоактивные элементы и изотопы распадаются с различной скоростью. Закон радиоактивного распада, открытый Ф. Содди и Э. Резерфордом экспериментальным путём и сформулированный в 1903 г., устанавливает зависимость между количеством распадающихся и имеющихся атомов:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad (1)$$

где dN – число распадающихся атомов за время dt ; λ – постоянная радиоактивного распада.

Кроме постоянной распада λ , важнейшей характеристикой радиоактивных веществ является период полураспада $T_{1/2}$ — время, за которое количество радиоактивных атомов убывает наполовину. Его значения для разных элементов лежат в широких пределах — от долей секунды до миллиардов лет.

Все радиоактивные вещества обладают способностью распадаться, превращаясь в другие – дочерние – химические элементы. При этом скорость распада постоянна и не зависит от каких бы то ни было внешних воздействий. Атомы урана и тория, разрушаясь, превращаются в металл свинец и инертный газ гелий. Гелий может частично улетучиваться, свинец же, напротив, постепенно накапливается в минералах и горных породах. Радиоактивный распад непрерывно происходит во всей земной коре и во внутренних областях Земли. Следовательно, зная скорость распада урана и тория и количество накопившегося в минерале свинца, можно вычислить время образования этого минерала. Метод, основанный на изучении процессов распада изотопов уран-238, уран-235 и торий-232, называется свинцово-изотопным. По соотношению этих элементов и изотопов свинца, образующихся в результате их радиоактивного распада, удается с высокой точностью установить время появления горной породы. Однако урановые и ториевые минералы недостаточно стойкие, легко разрушаются и, кроме того, не так уж часто встречаются в природе. Позже было установлено, что для установления возраста горных пород достаточно знать изотопный состав содержащегося в минерале свинца. Природный свинец представляет собой смесь четырех изотопов, из которых три (свинец-206, -207, -208) являются продуктами радиоактивного распада. Анализы показывают, что в образующихся ныне слоях эти изотопы содержатся в отношении ${}_{204}\text{Pb} : {}_{206}\text{Pb} : {}_{207}\text{Pb} : {}_{208}\text{Pb} = 1 : 19,04 : 15,69 : 39,00$ [1]. В отложениях минувших эпох это соотношение изменяется: чем древнее горная порода, тем меньше в ней радиогенных изотопов свинца. По известной нам скорости распада материнских элементов нетрудно вычислить, какое количество каждого изотопа должно присутствовать в породах того или иного возраста. Если же установить, в каком соотношении пребывают изотопы свинца в интересующем нас минерале, можно решить и обратную задачу: по количеству изотопов установить время образования породы.

Однако распространен свинец в земной коре неравномерно. Поэтому, пользуясь при определении геологического возраста одними только изотопами свинца, можно впасть в серьезную ошибку. Лишь для очень древних отложений свинцово-изотопный метод дает погрешность около 10% [1], с которой еще можно примириться, учитывая колоссальную отдаленность времени их образования, исчисляемую миллиардами лет.

На подсчете содержания в породе продуктов радиоактивного распада урана и тория основан гелиевый метод. Уран и торий дают при распаде гелий: ${}_{238}\text{U} \rightarrow {}_{206}\text{Pb} + 84\text{He}$; ${}_{235}\text{U} \rightarrow {}_{207}\text{Pb} + 74\text{He}$; ${}_{232}\text{Th} \rightarrow {}_{208}\text{Pb} + 64\text{He}$. Определяется количество скопившегося в породе радиогенного гелия, находят отношение его к общему содержанию урана и тория. Затем вычисляют, сколько должно было пройти лет, чтобы в исследуемом веществе установилось наблюдаемое соотношение этих элементов. Гелий хорошо сохраняется в магнитном железняке Fe_3O_4 , самородном железе, а также в некоторых силикатных минералах, приуроченных к обогащенным железом горным породам. Удалить гелий

из таких пород можно лишь продолжительным действием высокой температуры. Но зато из остальных минералов этот газ легко улетучивается, и поэтому абсолютный возраст, определенный гелиевым методом, как правило, оказывается заниженным [2].

Российскими учёными предложен метод, использующий накопление в горных породах другого инертного газа – аргона [2]. Он основывается на подсчете количества радиогенного аргона в минералах, содержащих калий. Таких минералов, к группе которых принадлежат все слюды и полевые шпаты, в природе очень много, и распространены они повсеместно. Поэтому аргонный метод быстро нашел широкое применение в мире. Встречающийся в природе калий состоит из смеси трех изотопов: калия-39, -40 и -41. Радиоактивен только калий-40. При радиоактивном распаде калия выделению свободных электронов (β -распаду) сопутствует обратный процесс – поглощение электронов атомным ядром: ${}_{40}\text{K} + e \rightarrow {}_{40}\text{Ar} + \beta$. Это явление, известное под названием электронного захвата, несколько усложняет общую картину. Поэтому, чтобы определить возраст аргонным методом, необходимо не только вычислить наблюдаемое в минерале соотношение аргона-40 и калия-40, но и учесть интенсивность электронного захвата и β -распада. Но и в этом случае сохраняется основная закономерность: чем древнее порода, тем больше в ней радиогенного аргона. Аргонный метод (его называют также калий-аргоновым) занял одно из ведущих мест в геохронологических исследованиях. И чем шире внедрялся он в практику, тем отчетливее проявлялись его достоинства и недостатки. Выяснилось, что многие минералы удерживают аргон очень плохо. Недолго сохраняется он в полевых шпатах. Значит, если мы будем иметь дело с гранитом, состоящим из кварца, полевого шпата и слюды, и определим абсолютный возраст этой породы по слюде, то полученная цифра окажется заведомо больше, чем количество лет, исчисленное по шпату. Не лучше обстоит дело и с другим минералом – сильвином (КС1), очень широко используемым при геохронологических определениях. Недавно стало известно [3], что при перекристаллизации горных пород, а также под действием давления аргон легко улетучивается из сильвина. Стало быть, на древних отложениях, которые на протяжении истории Земли могли неоднократно подвергаться нагреванию и сжатию, калий-аргоновый метод может привести к серьезным ошибкам в определении.

Для устранения этого недостатка был разработан кальциевый метод. Радиогенный изотоп кальция (кальций-40) образуется в результате β -распада калия-40: ${}_{40}\text{K} + e \rightarrow {}_{40}\text{Ca} + \beta$. Отношение количеств этих двух изотопов и принимается в качестве показателя возраста минералов. Опыты показали [3], что кальциевый метод может иногда с успехом применяться даже в том случае, когда порода, содержащая сильвин, испытала перекристаллизацию.

В последнее время геохронологическая датировка слюд и древних пород осуществляется с помощью рубидий-стронциевого метода [2], основанного на превращении рубидия-87 в стронций-87: ${}_{87}\text{Rb} \rightarrow {}_{87}\text{Sr} + \beta$. Самостоятельных минералов рубидий не образует, но он настолько часто сопутствует калию, что большинство калиевых минералов можно считать пригодными для определения возраста этим методом. Необходимо лишь быть уверенным, что горная порода содержит стронций только радиогенного происхождения.

Существует еще один геохронологический метод, который использует превращение рения-187 в осмий-187. Правда, рений довольно редко встречается в земной коре. Но значительные его количества приурочены к минералу молибдениту (MoS_2), который часто находят в кварцевых жилах и гранитах [2]. Знать возраст этих пород чрезвычайно важно для выяснения многих вопросов рудообразования.

Необходимо отметить, что методы радиоактивного распада имеют не только преимущества, но и недостатки, ограничивающие его применение: относительно невысока точность метода, высока его стоимость. Кроме того, в горных породах радиоактивные элементы часто вообще отсутствуют. Тем не менее, за ядерными методами большое будущее, поскольку усовершенствуется аппаратура, позволяющая получать более надежные результаты. Благодаря этим методам установлено, что возраст земной коры превышает 4,6 млрд. лет, тогда как до применения этих методов он оценивался лишь в десятки и сотни млн. лет [4].

Литература.

1. Геология: Учеб. для эколог. специальностей вузов / Сост. Н.В. Короновский, Н.А. Ясманов. – М.: ИЦ «Академия», 2003. – 448 с.
2. Изучение возраста Земли, пород, пластов по радиоактивному распаду [Электронный ресурс]. – <http://biofile.ru/geo/1279.html>
3. Радиоактивные свойства минералов и горных пород. Общие сведения [Электронный ресурс]. – <http://computerchoppers.ru/gornorazvedochnye-raboty/1297-radioaktivnye-svoystva-mineralov-i-gornyh-porod-obschie-svedeniya.html>
4. Смывина, В.С. Краткий курс лекций по исторической геологии [Электронный ресурс]. – http://www.kabinetgeo.narod.ru/lecsh_h1.htm