

## ИЗОТОПЫ В ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

Еремеев Р. С.<sup>1,2</sup>, Хорохорин Д. М.<sup>1,2</sup>, Ван Цайлунь<sup>1</sup>

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., профессор

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>2</sup>ФГУП «Горно-химический комбинат», 660049, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

E-mail: gos100@list.ru

Известно, что радиоактивные изотопы имеются во всех природных объектах. Одни изотопы были присущи природным объектам всегда (<sup>235</sup>U, Th), другие в небольшом количестве формировались в результате взаимодействия природных атомов с космическим излучением (<sup>36</sup>Cl и <sup>14</sup>C). Благодаря ионизирующему излучению радиоактивных изотопов ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) определенной энергии, эти компоненты можно идентифицировать. Это позволяет широко использовать изотопы как определенные индикаторы различных природных процессов.

Установлено, что в природе между U (материнским изотопом) и продуктами его распада (дочерними изотопами) устанавливается так называемое радиоактивное равновесие. Так, между U и Ra оно составляет  $3,4 \cdot 10^{-7}$ , тогда как между радоном и радием этот показатель составляет  $1,484 \cdot 10^{-5}$ .

Радиоактивные изотопы встречаются во всех материальных объектах. Они были, есть и будут всегда: от космоса до живых систем нашей планеты. Этот тезис относится и к воде: от мирового океана до воды в живых организмах. Вода стала одним из основных объектов исследования с самого начала открытия радиоактивных изотопов. Первый обзор о радиоактивности гидросферы и некоторых её особенностях был опубликован В.И. Вернадским в «Очерках геохимии» в Париже в 1924 г.

Во всех исследованиях по определению активности Rn в воде обращалось внимание на то, что этот радиоактивный газ обнаруживается в повышенных количествах только в подземных водах и его мало в поверхностных водоемах из-за его летучести. Разработка методов анализа вод на Ra позволила оценить, что его концентрация в водах находится на уровне  $10^{-16}\%$ , но в некоторых редких случаях в глубинных водах нефтегазоносных районов его концентрация может достигать уровня  $10^{-7}\%$ . Такая концентрация Ra была установлена в Республике Коми, на Челекене, Апшероне, в Фергане.

Одним из индикаторов возможного скопления больших масс урана в недрах были радиоактивные изотопы в водах, в том числе Rn и Ra, как продукты распада U, так и сама концентрация урана в воде.

Это был новый толчок в развитии гидрогеохимического метода поисков полезных ископаемых. Возникло новое направление в гидрогеологии – радиогидрогеология. Это отрасль гидрогеологии, занимающаяся изучением радиоактивности природных вод, условиями их формирования и распространения. Практически всегда наблюдается присутствие урана в водах малых рек, бассейн питания которых расположен в полях развития пород, обогащенных ураном или расположения урановых или урансодержащих проявлений. Обогащение речных вод ураном, а также сопутствующими ему элементами спутниками (Mo, Pb), используется в гидрогеохимическом методе поисков урановых месторождений. Гидрогеохимический метод прогнозирования и поиска урановых месторождений является обязательным рекомендованным методом в комплексе специализированных геологоразведочных работ.

Показатель отношения Th/U является важным геохимическим индикатором. Для родственных химических элементов, судьба которых близка в эндогенных магматических и высокотемпературных флюидных процессах - оба в этом случае 4-х валентные с близкими ионными радиусами. Концентрация различна в водной среде в экзогенных условиях - валентность Th и его ионный радиус остаются без изменения, а U становится 6-валентным и образует уранилионный комплекс. Растворимость в воде при этом становится различной на порядки.

Термальные источники имеют ториевую природу радиоактивности. Например, источник на территории Баргузинского заповедника имеет Th/U = 9,3. Большие значения торий-уранового отношения получены также в холодных углекислых соленых водах Терсинского месторождения минеральных вод Кузнецкого Алатау, которое определяется нижефоновыми концентрациями урана. Обнаруженные здесь концентрациями Th составляют десятки нг/л.

Низкими показателями Th/U (<0,001), как правило, характеризуются пресные воды, формирующиеся в геологических структурах, в пределах которых известны урановые месторождения.

Наилучшие условия для накопления U и Th в водах среди источников в Туве отмечаются в холодных слабокислых радоновых углекислых соленых водах родника Арыскан. Здесь благодаря наличию зон уникальной уран-торий редкоземельной минерализации, концентрации U в водах достигают 1,23 мг/л, а Th – 0,00052 мг/л.

Интересно, что по величине Th/U вода живых организмов также отличается и колеблется от 0,08 до 0,9, достигая своего максимума в жидкости из селезенки. Вероятной причиной преобладания Th над U в селезенке может быть различные формы их нахождения в растворе.