

### 3. КОММЕРЧЕСКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ

Выше мы рассматривали изотопы с научной точки зрения. Однако изотопы сейчас не только компонент науки и техники, они - предмет торговли, в том числе – международной. Перемещение изотопов через границы государств потребовало более «практического» определения, что такое изотоп, в первую очередь что такое радиоактивный изотоп и как его характеризовать с точки зрения международного законодательства. Коротко остановимся на взглядах на эту проблему чиновников Государственного таможенного комитета РФ (Положение о порядке вывоза из Российской Федерации и ввоза в Российскую Федерацию радиоактивных веществ и изделий на их основе, 1996 года с учетом Правил безопасности при транспортировании радиоактивных веществ (ПБТРВ-73)). В этом Положении рассматриваются элементы химические радиоактивные и изотопы радиоактивные (включая делящиеся и воспроизводящие) и их соединения; смеси и отходы, содержащие эти изотопы.

В рассматриваемой здесь сфере, термин изотопы охватывает не только изотопы в их чистом состоянии, но также и химические элементы, природный изотопный состав которых искусственно модифицирован обогащением элементов некоторыми их изотопами (а также обеднение элементов другими изотопами), или превращением в ходе ядерных реакций некоторых изотопов в другие, искусственные изотопы. Например, хлор с атомной массой 35,30, полученный обогащением этого элемента изотопом хлора-35 до содержания последнего 85%, рассматривается как изотоп.

Элементы, состоящие в природе только из одного изотопа (моноизотопные), например, бериллий-9, фтор-19, алюминий-27, фосфор-31, марганец-55 и т.д., не рассматриваются как изотопы, их классифицируют в свободном или связанном состоянии в соответствии с этим состоянием, в более специфических товарных позициях, относящихся к химическим элементам или их соединениям. Однако радиоактивные изотопы этих элементов, полученные искусственно (например,  $\text{Be}^{10}$ ,  $\text{F}^{18}$ ,  $\text{Al}^{29}$ ,  $\text{P}^{32}$ ,  $\text{Mn}^{54}$ ), рассматриваются как изотопы. Некоторые искусственно полученные химические элементы (обычно с атомным номером выше 92 или трансурановые элементы) не имеют фиксированного изотопного состава - он изменяется в соответствии с методом получения такого элемента. Химические элементы, изотопы, соединения и, вообще, вещества, производящие самопроизвольное излучение, называют радиоактивными.

В товарную позицию «Радиоактивные химические элементы, радиоактивные изотопы и их соединения; смеси и отходы, содержащие эти продукты» попадают радиоактивные химические элементы: технеций, прометий, полоний и все элементы с более высоким атомным числом, такие как астат, радон, франций, радий, актиний, торий, протактиний, уран, нептуний, плутоний, америций, кюрий, берклий, калифорний, эйнштейний, фермий, менделевий, nobелий и лоуренсий. Эти элементы обычно состоят из нескольких изотопов, которые все являются радиоактивными. С другой стороны, имеются элементы, состоящие из смеси стабильных и радиоактивных изотопов, такие как калий, рубидий, самарий, и лютеций, которые вследствие того, что радиоактивные изотопы имеют низкий уровень радиоактивности, рассматриваются как стабильные и не попадают в данную товарную позицию. С другой стороны, те же элементы (калий, рубидий, самарий, лютеций), обогащенные своими радиоактивными изотопами ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ ), рассматриваются как радиоактивные изотопы данной товарной позиции. К уже упомянутым природным радиоактивным изотомам добавлены уран-235 и уран-238 и некоторые изотопы таллия, свинца, висмута, полония, радия, актиния или тория, которые известны под названиями, отличающимися от названий соответствующих элементов. Эти названия скорее связаны с названием того элемента, из которого они получились при радиоактивном превращении. Так, висмут-210 называется радием E, полоний-212 называется торием C и актиний-228 называется мезоторием.

Химические элементы, которые обычно стабильны, тем не менее могут становиться радиоактивными после их бомбардировки частицами, выходящими из ускорителя частиц и имеющими большую энергию, или после поглощения нейтронов в ядерном реакторе. Трансформированные таким образом элементы называются искусственными радиоактивными изотопами. Кроме урана-233 и изотопов плутония, некоторые из наиболее важных таких элементов следующие: водород-3 (тритий), углерод-14, натрий-24, фосфор-32, сера-35, калий-42, кальций-45, хром-51, железо-59, кобальт-60, криптон-85, стронций-90, иттрий-90, палладий-109, иод-131 и 132, ксенон-133, цезий-137, туллий-170, иридий-19, золото-198 и полоний-210. Радиоактивные химические элементы и радиоактивные изотопы самопроизвольно переходят в более стабильные изотопы или элементы.

Радиоактивные химические элементы и изотопы входят в данную товарную позицию, даже если они смешаны вместе или с другими радиоактивными соединениями, или с нерадиоактивными соединениями и материалами (например, с отработанными облученными мишенями и радиоактивным сырьем), при условии, что удельная радиоактивность продукта больше, чем 74 беккереля/грамм (0,002 микрокюри/грамм).

Радиоактивные химические элементы и изотопы данной товарной позиции часто используются в форме соединений или продуктов, которые мечены (т.е., содержат молекулы с одним или более радиоактивными атомами). Такие соединения остаются в этой товарной позиции, даже если они растворены, диспергированы, смешаны с другими радиоактивными или нерадиоактивными материалами. Неорганические или органические соединения, состоящие из радиоактивных изотопов и их растворов, также попадают в данную товарную позицию, даже если удельная радиоактивность ниже 74 беккереля/грамм (0,002 микрокюри/грамм); с другой стороны, сплавы, дисперсии, керамические продукты и смеси, содержащие радиоактивные вещества попадают в данную товарную позицию, если их удельная радиоактивность больше, чем 74 беккереля/грамм (0,002 микрокюри/грамм).

Наиболее значимые радиоактивные соединения следующие: 1) соли радия, используемые в качестве источника излучения для лечения раковых заболеваний и для некоторых физических опытов. 2) соединения радиоактивных изотопов. Искусственные радиоактивные изотопы и их соединения используются в промышленности для радиографии металлов, для измерения толщины листовых металлов, для измерения уровня жидкости контейнерах, для ускорения вулканизации; для инициирования полимеризации или прививки органических соединений, для производства светящихся красок, для часовых циферблатов, инструментов и т.п.; в медицине для диагностики или лечения некоторых болезней (кобальт-60, иод-131, золото-198, фосфор-32 и т.п.); в сельском хозяйстве для стерилизации сельскохозяйственных продуктов, для предотвращения прорастания семян; для исследования применения удобрений или поглощения их растениями, для создания генетических мутаций с целью улучшения видов и пород (кобальт-60, цезий-137, фосфор-32 и т.д.); в биологии для исследования функционирования и развития некоторых животных и растительных органов (третий, углерод-14, натрий-24, фосфор-32, сера-35, калий-42, кальций-45, стронций-90, иод-131 и т.д.); в физических или химических исследованиях.

Из радиоактивных отходов наиболее важные с точки зрения вторичного использования следующие: 1) облученная или содержащая тритий тяжелая вода: после различного времени пребывания в реакторе 2) отработанные топливные элементы, с очень высоким уровнем радиоактивности,

Перейдем теперь к делящимся и воспроизводящимся химическим элементам.

**Уран** в природном состоянии состоит из трех изотопов: урана-238, который составляет 99,28 % всей массы, урана-235 (0,71%) и незначительного количества (0,006 %) урана-234. Природный уран можно считать как делящимся элементом (благодаря содержанию урана-235), так и воспроизводящим (благодаря содержанию урана-238). Уран выделяют из урановой смолки, уранинита, отунита, браннерита, карнотита или торбернита. Он также извлекается из других вторичных ресурсов, таких как отходы производства суперфосфата или золотодобывающих производств. Уран - слабо радиоактивный элемент, очень тяжелый (удельная плотность 19) и твердый. Он имеет блестящую серебристо-серую поверхность, но темнеет в контакте с кислородом воздуха, образуя оксиды. В порошкообразном виде он окисляется и быстро возгорается при контакте с воздухом. Уран обычно продается в форме болванок, пригодных для металлообработки (чтобы получить бруски, стержни, трубы, листы, проволоку и т.п.).

**Торий.** Поскольку торит и орангит, весьма богатые торием, встречаются в природе весьма редко, торий в основном получают из монацита, который содержит также редкоземельные металлы. Неочищенный торий представляет собой крайне пирофорный серый порошок. Тяжелые, серо-стального цвета чушки тория (удельная плотность 11,5) довольно тверды (хотя мягче, чем уран) и быстро окисляются на воздухе. Эти болванки прокатывают, экструдировать или протягивают с получением листов, брусков, стержней, труб и т.п. Природный торий состоит, по существу, из изотопа тория-232. Торий и некоторые сплавы тория используются как воспроизводящие материалы в ядерных реакторах. Торий-магниевого и торий-вольфрамовые сплавы применяют в авиастроительной промышленности и в производстве термоионных устройств. Изделия, выполненные из тория, исключаются из данной товарной позиции.

**Промышленный плутоний** получают облучением урана-238 в ядерных реакторах. Это очень тяжелый (удельная плотность 19,8) радиоактивный и высоко токсичный элемент. По виду он подобен урану, аналогичен и по окисляемости. Плутоний поставляется в таком же виде, как и обогащенный уран и требует величайшей осторожности при обращении. Делящиеся изотопы включают: 1) уран-233: его получают в ядерных реакторах из тория-232, который превращается последовательно в торий-233, протактиний-233 и уран-233; 2) уран-235: это единственный делящийся изотоп урана, который встречается в природе; 3) плутоний-239: его получают в ядерных реакторах из урана-238, который последовательно превращается в уран-239, нептуний-239 и плутоний-239.

Имеются некоторые изотопы трансплутониевых элементов, такие как калифорний-252, америций-241, кюрий-242 и кюрий-244, которые могут расщепляться и которые могут быть использованы как интенсивный источник нейтронов. Из воспроизводящих изотопов, кроме тория-232,

следует отметить обедненный уран. Этот металл является побочным продуктом производства урана, обогащенного ураном-235. Благодаря его гораздо меньшей стоимости и доступности в больших количествах, он заменяет природный уран, в частности, как воспроизводящий материал, как защитный экран против радиации, как тяжелый металл для маховиков, а также в производстве абсорбирующих составов (газопоглотителей), используемых для очистки некоторых газов. Изделия из урана, обедненного ураном-235, исключаются из данной товарной позиции.