

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА В ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКЕ

Долматов Д.О.

Научный руководитель: Демянюк Д.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: dolmatovdo@tpu.ru

В ближайшие двадцать лет ожидается значительный рост производства энергии на атомных электростанциях. Агентство по атомной энергетике прогнозирует рост суммарной мощности АЭС с 370 гигаватт сегодня до 456 гигаватт в 2030 году¹. Расширение объема и географии использования атомной энергии в мире ведет к увеличению использования ядерных материалов, что способствует росту рисков их хищения.

Проблема незаконного оборота ядерных материалов приобрела свою актуальность в начале девяностых годов. Согласно данным МАГАТЭ в 1993-2012 годах произошло 419 инцидентов (рис 1), связанных с незаконным владением, перемещением или попыткой продажи ядерных и других радиоактивных материалов, 16 из которых были связаны с ураном высокого обогащения и плутонием².

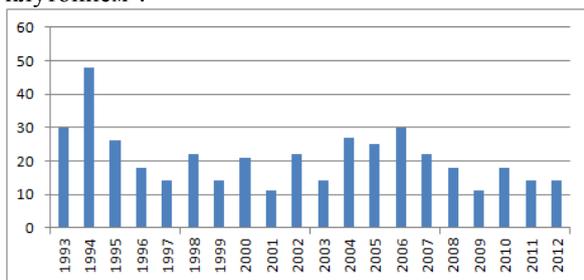


Рисунок 1. Количество инцидентов, связанных с незаконным оборотом ядерных и других радиоактивных материалов в 1993-2012 годах

В двухтысячных годах обеспокоенность мирового сообщества проблемой незаконного оборота ядерных материалов только увеличилась в связи с переоценкой угрозы ядерного терроризма после терактов в США в 2001 году. В 2002 году Международное агентство по атомной энергетике приняло план действий, направленных против возможности попадания ядерных материалов в руки террористических организаций. Важной частью данного плана действий являются механизмы обнаружения и противодействия незаконному обороту ядерных и других радиоактивных материалов, одним из которых является ядерная криминалистика. Ядерная

криминалистика представляет собой анализ ядерных материалов с целью получения информации о его происхождении, а также способов производства и использования. В связи с тем, что методы анализа, используемые в ядерной криминалистике, являются преимущественно разрушающими, выбор правильного набора и последовательности методов исследования образцов является одним из важнейших факторов, который позволяет специалистам решать поставленные перед ними задачи.

Процесс анализа изъятых из незаконного оборота ядерных материалов можно разделить на три этапа (рис.2). На первом этапе определяется элементный состав образца. Кроме того проводится изотопный анализ интересующих элементов, а также анализ частиц образца. Неотъемлемой частью ядерной экспертизы на данном этапе является фазовый анализ, цель которого заключается в определении молекулярного состава пробы. В итоге специалисты получают информацию, необходимую на последующих стадиях экспертизы. Данный этап называется характеризация. На следующем этапе полученная информация сопоставляется с известной информацией, которая может быть связана с теми или иными особенностями происхождения и производства ядерных материалов, то есть происходит интерпретация данных, которые были получены в ходе характеризации. На заключительном этапе делается вывод о происхождении образца, способов обращения с ним, а также на каком этапе над ним был утерян контроль. Этот этап называется атрибуция.



Рисунок 2. Этапы ядерной криминалистики

Ядерная экспертиза может происходить в несколько итераций. При первичной характеризации образца в ходе интерпретации создается гипотеза или их набор, которые проверяются с помощью дополнительных

¹ IAEA Updates Its Projections for Nuclear Power in 2030 // IAEA official website. URL: <http://www.iaea.org/newscenter/news/2012/np2030.html>

² Incident and Trafficking Database // IAEA official website. URL: <http://www-ns.iaea.org/security/itdb.asp>

исследований образца. В результате гипотеза подтверждается или опровергается. Таким образом, исследования материалов продолжаются до тех пор, пока не останется единственная гипотеза.

Определение элементного состава анализируемого образца является важной частью анализа образца при характеристике. Это связано с тем, что наличие или отсутствие тех или иных элементов, а также их количественное содержание в исследуемой пробе, может свидетельствовать о происхождении материала и способах его производства. Редкоземельные элементы зачастую остаются в составе соединений урана во время его добычи и обработки. Таким образом, определенное качественное и количественное содержание редкоземельных элементов в образце может указывать на место, где ядерный материал был добыт. Содержание неметаллических компонентов в образце может свидетельствовать о способах обращения с ядерными материалами.

Для определения элементного состава проб в целях ядерной криминалистики в данной работе были рассмотрены такие методы анализа как рентгеновская флуоресцентная спектрометрия, масс спектрометрия и атомно-эмиссионная спектроскопия. Рентгеновская флуоресцентная спектроскопия основана на явлении рентгеновской флуоресценции, которое возникает при прохождении рентгеновского излучения через вещество. При данном явлении электрон с внутренней оболочки атома выбивается фотоном рентгеновского излучения. Вследствие этого, на внутренней оболочке атома образуется вакансия, на которую переходят атом с внешней оболочки. При этом испускается квант характеристического рентгеновского излучения, который является уникальным для данного элемента. Несомненным преимуществом данного метода является простота пробоподготовки. В частности, в некоторых случаях можно и вовсе обойтись без подготовки проб. Кроме того, рентгеновский флуоресцентный спектрометр может быть выполнен в виде переносной системы, что позволяет осуществлять анализ на месте. Недостатком данного метода заключается в значительном влиянии матричных эффектов на результат анализа. Вследствие этого, осложняется задача прецизионного определения содержания элементов в исследуемой пробе. Методом рентгеновской флуоресцентной спектроскопии анализируют главным образом твердые образцы. Для анализа порошкообразных проб их прессуют в таблетки. При этом могут применяться наполнители, которыми могут быть целлюлоза, графит или поливиниловый спирт. В случае анализа металлических образцов их анализ можно проводить непосредственно.

Методом, обладающим высоким порогом обнаружения содержания элементов является масс-спектрометрия. Метод основан на

атомизации молекул исследуемой пробы, их ионизации и последующем разделении ионов в газовой фазе в соответствии с отношением массы атомов к их заряду. Прежде всего, метод масс-спектрометрии применяется для изотопного анализа образцов, но может быть применен для прецизионного определения содержания элементов в определяемой пробе. Для целей определения элементного состава проб применяется масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Индуктивно связанная плазма – это тип плазмы, который возбуждается переменным магнитным полем при помощи индукционной катушки. При использовании индуктивно-связанной плазмы в горелку подается жидкая проба, распыляемая в виде аэрозоля. Капли пробы переносятся в плазменную горелку потоком аргона. Когда в плазму аргоновой горелки попадают капли аэрозоля, они моментально испаряются, происходит атомизация атомов пробы и их ионизация.

Атомный эмиссионный анализ основан на изучении спектров испускания свободных атомов исследуемой пробы. Вследствие уникальности строения электронных оболочек атомов каждого элемента, их эмиссионные спектры являются уникальной характеристикой, что является основой для проведения качественного анализа при помощи атомно-эмиссионной спектроскопии. Количественный анализ основан на измерении интенсивности отдельных линий спектра, принадлежащих тому или иному элементу. Особенности пробоподготовки зависят от способов возбуждения спектров. Так, дуговой и искровой разряд применяют при анализе твердых образцов. При использовании метода индуктивно-связанной плазмы, возможен анализ только жидких проб.

Методы, которые могут быть применены для определения элементного состава в ядерной криминалистике, должны обладать высокой чувствительностью и точностью анализа. Кроме того при характеристике определяют содержание в пробе как легких, так и тяжелых элементов. Задача также усложняется тем, что ядерный материал может быть в любом из трех агрегатных состояний. Поэтому, задачей данной работы является определение набора методов, позволяющих прецизионно и экспрессно определять содержание как тяжелых, так и легких элементов в исследуемых образцах.

Список литературы:

1. Nuclear Forensic Support. International Atomic Energy Agency, 2006
2. Kenton J. Moody, Ian D. Hutcheon, Patrick M. Grant. Nuclear Forensics Analysis. Taylor & Francis group, 2005
3. М. Отто. Современные методы аналитической химии. Техносфера, 2008