

КЛЮЧЕВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ИНСПЕКЦИЙ

ПРОГРЕСС В МЕТОДАХ ОТБОРА ПРОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УКРЕПЛЯЕТ ГАРАНТИИ

ДЭВИД Л. ДОНОХЬЮ

Для международного сообщества лето 1991 г. явилось поворотным пунктом благодаря сделанному с помощью науки открытию, проложившему путь к укреплению ядерных гарантий. Инспекторы МАГАТЭ и ООН тщательно осматривали разрушенные ядерные установки Ирака в поисках доказательств разработки тайной программы производства атомных бомб, что безоговорочно запрещено после ратификации Ираком Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО). В то лето инспекторам удалось найти мельчайшие следы таких радиоактивных элементов, как уран и плутоний, что помогло им соединить в одно целое отдельные элементы тайной программы, определить ее масштаб, график и вероятную цель.

Так была открыта новая глава в разработке международных ядерных гарантий. В 1995 г. государства одобрили меры по укреплению системы гарантий, в результате которых инспекторы получили полномочия и средства для обеспечения уверенности в том, что никакая необъявленная ядерная деятельность не останется незамеченной.

Научная база этого возросшего потенциала, получившая название "отбор проб окружающей среды для целей гарантий" (ОПГ), опирается на высокочувствительные и выборочные аналитические измерения для обнаружения следов ядерных материалов в "окружающей среде" известной или подозреваемой ядерной установки. Применение ОПГ демонстрирует важность наличия под рукой ком-

плекта современных аналитических и измерительных методов для работы по решению важной мировой проблемы.

Некоторые методы использовались инспекторами МАГАТЭ в ходе инспекций в Ираке в начале 90-х гг. С тех пор МАГАТЭ в сотрудничестве с национальными и международными экспертами выполнило большой объем работы по внедрению и реализации ОПГ во всех странах, имеющих соглашения о всеобъемлющих (в связи с ДНЯО) гарантиях. Средства ОПГ также будут применяться инспекторами Группы действий МАГАТЭ в Ираке, которая возобновила инспекции на местах в конце ноября 2002 г. в соответствии с расширенным мандатом Совета Безопасности (см. вставку на стр. 18).

Для создания этого потенциала потребовалось выполнить одновременно ряд параллельных задач: разработку и подтверждение правильности методов пробоотбора, обеспечение сертифицированных чистых материалов для изготовления образцов, создание чистой установки класса 100 для обработки проб без риска взаимного загрязнения, координацию деятельности сети аналитических лабораторий (САЛ), способных проводить в высшей степени специализированные измерения, и применение герметически закры-

той системы обеспечения качества, чтобы исключались любые сомнения в достоверности результатов.

В настоящее время инспекторы МАГАТЭ ежегодно собирают несколько сот образцов окружающей среды вокруг установок по всему миру. Лаборатории МАГАТЭ и его САЛ выполняют тысячи измерений таких образцов. Результаты этих измерений сравниваются с заявлениями от инспектируемых установок с использованием сложных компьютерных программ и статистических методов, с тем чтобы определить наличие существенных расхождений.

Аналитические методы, применяемые для этих образцов, отвечают самым современным требованиям по чувствительности и селективности в обнаружении элементов или изотопов, представляющих интерес, но в то же время постоянно идет разработка новых, еще более эффективных методов. Поистине поражает объем информации, которую можно извлечь из небольшого количества собранного материала, например из пробы, которую инспекторы снимают на кусок ткани из хлопка размером 10 × 10 см. Результаты, которые могут быть получены, свидетельствуют о степени эффективности этих методов.

Основные методы ОПГ. Возможности МАГАТЭ по ОПГ сосредоточены в Чистой лаборато-

Г-н Донохью — руководитель Чистой лаборатории МАГАТЭ по гарантиям, входящей в состав Аналитической лаборатории Агентства по гарантиям (АЛГ) в Зайберсдорфе, Австрия. Статья представляет собой обновленный вариант материала, опубликованного в журнале "Analytical Chemistry", vol. 74, No. 1 (January 2002), подготовленного при участии коллег из АЛГ, Чистой лаборатории и Департамента гарантий.

ОТКРЫТИЕ ЛЕТОМ 1991 г.

Более 10 лет назад инспекторы МАГАТЭ обнаружили в Ираке тайную программу разработки ядерного оружия. Открытие стало возможным благодаря технологиям и потенциалу МАГАТЭ по анализу проб ядерных и радиоактивных материалов, включая методы мониторинга окружающей среды. Инспекторы брали пробы материалов внутри и вокруг установок и мазки пыли, осевшей на поверхностях оборудования. ■ Аналитики, к своему удивлению, обнаружили свидетельства обогащения урана – особым образом измененный изотопный состав урана, который не соответствовал никаким известным данным о заявленных материалах. Они обнаружили также крайне обедненный уран, который мог быть получен только в результате метода электромагнитного разделения, который, как известно, больше нигде в мире не применяется. Дальнейшие инспекции и анализы привели к раскрытию программы Ирака по обогащению урана.

■ Анализ других проб позволил обнаружить также незавленную деятельность по облучению урана для производства очень малых количеств плутония. Кроме того, был обнаружен уран с трех различных месторождений, включая местное производство урана в качестве побочной продукции иракского фосфатного завода.

■ Методы мониторинга окружающей среды применялись с 1991 по 1998 г. для проверки точности окончательных заявлений Ирака о своей ядерной программе. До 1998 г., когда инспекции были прекращены, МАГАТЭ смогло отобразить и нейтрализовать программу Ирака.

Опыт, накопленный в Ираке, привел к укреплению системы гарантий МАГАТЭ и более широко-



му использованию сбора и анализа проб окружающей среды. Эти методы были введены в употребление в 1996 г. в качестве меры по осуществлению инспекционной деятельности, которая может применяться по соглашениям о всеобъемлющих гарантиях и более широко – в соответствии с дополнительными протоколами к таким соглашениям, которые позволяют инспекторам Агентства проводить проверку как объявленных, так и необъявленных ядерных материалов и деятельности.

Для получения более полных сведений см. статью Д. Донохью и Р. Зайслера в “Бюллетене МАГАТЭ”, т. 34, № 1 (1992 г.) “За кулисами: Научный анализ проб, взятых в ходе ядерных инспекций в Ираке”, а также “Технологии по обнаружению эмиссий”, главу 3 доклада 1995 г. по ядерным гарантиям, представленного бывшим Управлением США по оценке технологий.

рии по гарантиям, входящей в состав Аналитической лаборатории по гарантиям, которая находится вблизи Вены, Австрия. В лабораториях используются следующие аналитические методы сортировки и измерения проб:

■ **Гамма-спектрометрия высокого разрешения (ГСВР)** используется для первичной радиометрической сортировки проб после их поступления в Зайберсдорф. Такая сортировка может выполняться без извлечения проб из пакетов или бутылок, что позволяет дополнительно уменьшить возможность взаимного загрязнения.

■ **Рентгеновская флуоресцентная (РФ) спектрометрия с радиоизотопным или рентгеновским возбуждением** может обнаружить субмикrogramмные количества урана в пробах. Эта

информация используется для принятия решения относительно безопасности обращения с пробами в чистой лаборатории, а также при выборе методов детального анализа, которые применяются в дальнейшем.

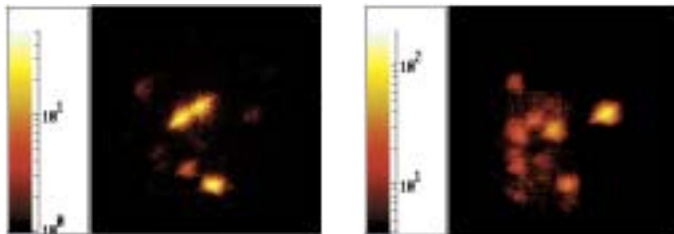
■ **Сканирующая электронная микроскопия с электронным возбуждением рентгеновской флуоресцентной спектрометрии (СЭМ/РФ)** применяется для измерений элементного состава микрометрических частиц, извлеченных из проб. В особенности представляют интерес соотношения уран/плутоний и америций/плутоний в пробах, взятых в перчаточных боксах или горячих камерах.

■ **Термальная ионизационная масс-спектрометрия (ТИМС) с использованием подчета ионов для детекции при-**

меняется для измерения субнанограммовых количеств урана или плутония после растворения проб (так называемый “балковый анализ”). Балковый анализ позволяет определить средний состав пробы, независимо от физической формы содержащихся в ней элементов, и дополняет информацию, полученную в результате методов “анализа частиц”, таких как СЭМ/РФ.

■ **Вторичная ионная масс-спектрометрия (ВИМС)** используется для измерения изотопного состава микрометрических частиц. Наличие изотопов уран-235 и уран-238 представляет наибольший интерес, поскольку свидетельствует об обогащении урана и тем самым о намерении использовать его в реакторном топливе или в ядерных взрывных устройствах (см. рисунок на след. стр.).

Анализ частиц изотопов урана



Изображения ионов урана-235 и урана-238, полученные аналитиками МАГАТЭ при использовании метода вторичной ионной масс-спектрометрии. Изображения показывают ионы на участке 150 мкм в диаметре. Каждое светлое пятно – это единичная частица, и обогащение всех обнаруженных частиц может быть легко рассчитано путем математического сравнения двух изображений. (Предоставлено: IAEA)

Обширный опыт. МАГАТЭ накопило богатый опыт сбора большинства видов проб окружающей среды: почвы, осадков, воды, растительности и биоты. Однако эти виды проб обычно берутся на некотором расстоянии от известной или подозреваемой установки, что может приводить к значительному снижению их показательности.

Поскольку инспекторы МАГАТЭ получили доступ в сами здания на ядерной площадке, было решено сконцентрировать усилия на взятии и анализе мазковых проб с поверхностей. Мазки имеют несколько преимуществ: они малы и компактны (по сравнению с 1 кг почвы и 1 л воды, взятыми в виде пробы); они облегчают взятие множества дублирующих подпроб в каждом местоположении; можно выбрать среду для мазка со слабым фоном интересующих элементов; и их удобно применять для взятия проб частиц пыли с горизонтальных поверхностей и оборудования внутри зданий.

Разработаны два типа наборов для взятия мазковых проб. В каждом имеются все предметы, необходимые подготовленному ин-

спектору для взятия дублирующих мазков с одного места, – перчатки, пакеты, бутылки, листки для записи данных (с инструкциями по взятию проб на обороте), авторучка и т. д. Чистая лаборатория готовит эти наборы в чистой зоне класса 100, соблюдая меры обеспечения качества, достаточные для гарантирования того, что мазки не будут загрязнены актиноидами или радионуклидами до употребления. Как неиспользованные наборы, так и отобранные пробы находятся все время под контролем инспектора, чтобы предотвратить неумышленное перекрестное загрязнение или порчу.

Хотя АЛГ и Чистая лаборатория хорошо оснащены для детального анализа проб окружающей среды, стало необходимым создать сеть лабораторий в государствах – членах МАГАТЭ для удовлетворения трех основных потребностей: применения аналитических методов, которые МАГАТЭ не в состоянии использовать из-за нехватки средств (таких, как анализ трека деления и ускорительная масс-спектрометрия), обеспечения резервных возможностей лабораториям МАГАТЭ во

время пиковых нагрузок в поступлении проб и обеспечения параллельных измерений на дублирующих подпробах с целью повышения уверенности в точности результатов.

Чистая лаборатория изготавливает также пустые или “нашпигованные” образцы для контроля качества, которые направляются “вслепую”, наряду с пробами, взятыми в ходе инспекций, в целях мониторинга возможности появления неверных позитивных или негативных результатов. Наконец, АЛГ и Чистая лаборатория продемонстрировали серьезность своих намерений добиваться высокого качества анализа, получив сертификат соответствия стандарту ИСО 9002/1994 по обеспечению качества.

Примеры анализов. Мониторинг окружающей среды имеет дело с элементами и изотопами, несущими уникальную “подпись” антропогенных (произведенных человеком) процессов, таких как изотопное обогащение или нейтронное облучение. Подобно лабораториям судебной системы, которые изучают доказательства преступления, аналитики ищут признаки, недвусмысленно указывающие на определенный сценарий: каковы были исходные материалы, какой процесс использовался для их трансформации и когда это произошло?

Когда результаты согласуются с заявлением от установки, это обеспечивает дополнительную уверенность в отсутствии каких-либо злоупотреблений. Когда обнаруживается возможное расхождение, принимаются меры для его подтверждения, например путем повторной проверки результатов сообщившей их лабораторией, анализа архивных или взятия новых проб. Тот, кто отвечает за оценку данных, должен быть хорошо осведомлен о пределах точности аналитических методов и быть предельно внимательным, чтобы не пропустить данных, вводящих в заблуждение из-за загрязнения, вмешательства или ошибки.

ПЕРЕДОВАЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА ПОМОГАЕТ ИНСПЕКТОРАМ В ИРАКЕ

Ядерные инспекторы МАГАТЭ располагают богатым набором высокотехнологичных инструментов для инспекций вооружений в Ираке, которые возобновились в ноябре 2002 г. после четырехлетнего перерыва. С 1998 г. техника стала гораздо совершеннее.

Одна из главных задач инспекторов МАГАТЭ заключается в том, чтобы накрыть системой обнаружения, подобно сетью, Ирак – страну примерно одного размера с Францией. Ячей сети не должны пропустить важные улики. Такой подход известен как поиск в широкой зоне. Внутри сети будут выбираться целевые участки для более тщательной проверки и установления фактов.

Для сбора доказательств инспекторы будут применять широкий спектр технологических новшеств, таких как ручные детекторы излучений и измерительные приборы. Некоторые небольшие приборы используются для поиска ядерных и радиоактивных материалов, известных своей связью с производством оружия. Другие, такие как многоканальные анализаторы, могут использоваться для идентификации конкретных радиоактивных элементов в пробах, собираемых инспекторами для более полного анализа в лабораториях.

Анализ проб может определить “ядерные отпечатки” и выявить индикаторы прошлой и текущей деятельности в местах обращения с ядерными материалами, особенно тех, которые связаны с процессами конверсии, изготовления и обогащения урана. Однако выявление таких случаев требует компетенции и надлежащего оборудования – например, отпечатки различных изотопов могут перекрывать друг друга, а наличие в избытке одного элемента может маскировать присутствие редкого изотопа.

Прийти к определенным выводам иногда бывает далеко не просто, часто это требует многосторонних аналитических подходов. МАГАТЭ имеет собственных экспертов и свои средства благодаря Аналитической лаборатории по гарантиям в Австрии, опытной в деле измерения и анализа проб, включая сотни образцов в результате инспекций в Ираке в 90-е гг. С тех пор полностью вступила в строй “Чистая лаборатория”, оснащенная высокочувствительными приборами, включая электронные микроскопы и масс-спектрометры. Эксперты могут точно измерить даже частицы в один нанограм (одна миллиардная грамма) и обнаружить следы ядерных материалов, собранных вокруг известных или подозреваемых ядерных установок.

Многоканальные анализаторы (МКА). Эти стандартные портативные приборы, которые имеются у инспекторов МАГАТЭ, регистрируют энергию, испускаемую радиоактивным источником. В МКА используется программное обеспечение, которое считывает рисунок выходной энергии, сравнивает его с “подписью” и выдает результат. Один из портативных анализаторов предназначен для обнаружения гамма-излучения радиоизотопов и присутствия нейтронов для



лучшей детекции плутония, производимого в реакторе в результате облучения урана-238. В отличие от типовых детекторов излучения этот прибор может использоваться для поиска и установления местонахождения неизвестного источника радиации, определения относительной мощности дозы и установления изотопного состава источника. Результаты выводятся на цифровой дисплей. Изотопы урана и плутония, например, являются хорошим индикатором того, имела ли место переработка ядерного топлива. Прибор другого типа, портативный гамма-спектрометр, специально предназначен для измерений урана и установления факта его обогащения. На нем могут выполняться точные и быстрые проверочные измерения урана в лабораториях, на установках и в другой промышленной среде. Соотношение различных изотопов может служить источником ценной информации – например, какой тип обогащения был использован.

Детекторы сплавов. На заводском дворе, заваленном металлическими предметами, инспекторы пользуются другим портативным устройством, называемом АЛЕКС, английское сокращение от названия “Alloy expert” – “эксперт по сплавам”. В ядерной деятельности применяются экзотические сорта стали и редкие элементы, такие как цирконий. АЛЕКС позволяет провести быструю идентификацию на месте и дает возможность активизировать инспекционную работу, когда обнаруживается нечто важное. Например, UF_6 (гексафторид урана), используемый в обогащении урана, весьма подвержен коррозии. АЛЕКС быстро распознает специальные сплавы, требуемые для процесса производства этого материала. Технически это устройство представляет собой рентгено-

Фото: Инспекторы ядерной деятельности в Ираке используют разнообразную аппаратуру. (Предоставлено: Calma/IAEA)

флуоресцентный спектрометр. Он генерирует рентгеновские лучи, которые проникают в inspected материал. Алекс сравнивает рисунок реагирования элементов сплава на рентгеновское излучение с данными электронной библиотеки в его программном обеспечении и выводит результаты на дисплей.

Приборы для мониторинга окружающей среды. Другими элементами поисковой сети, накрывающей Ирак, будут приборы для мониторинга воды, воздуха и растительности. Программа разработки ядерного оружия, несмотря на самые изощренные попытки скрыть ее, скорее всего, оставит свои «отпечатки» в природе. По всему Ираку будет осуществляться мониторинг воды с использованием системы, где сырая вода в течение часа пропускается через фильтр, что эквивалентно тестированию большого объема воды. Лабораторный анализ фильтра дает возможность обнаружить с большой точностью мельчайшие следы материалов в воде. По всей территории Ирака в различных точках могут быть установлены пункты забора проб воздуха, а образцы растительности могут быть проверены на содержание трития, изотопа водорода. Обнаружение трития в водотоках или в воздухе позволяет достаточно определенно предположить, например, что это связано с работой реактора.

Цифровые системы видеонаблюдения. Для наблюдения и мониторинга на объектах используются защищенные от несанкционированного вмешательства цифровые видеосистемы. В число таких объектов могут входить предприятия, где производство может иметь двойное назначение, например где возможно использование машинного оборудования для изготовления компонентов ядерной программы. Данные поступают в мощные компьютерные системы, используемые инспекторами для рассмотрения и анализа изображений и соответствующих данных.

Изображения со спутников. Изображения с коммерческого спутника могут использоваться для целей мониторинга, помогая инспекторам в отслеживании соответствующей деятельности. Новое поколение устройств глобальной спутниковой системы позиционирования (ГСП) облегчит работу инспекторов по мониторингу этой большой страны.

База данных инспекций. Наряду с полным комплектом аппаратуры радиационного контроля и других средств мониторинга ключевым инструментом эффективной работы инспекторов является конфиденциальная база данных Группы действий МАГАТЭ. В ней содержится исчерпывающая и исключительно подробная информация, полученная из прошлых инспекций, заявлений Ирака, сообщений перебежчиков, данных разведки и множества других источников информации о деятельности Ирака, имеющей отношение к ядерной программе. Например, инспекторы могут установить, что какой-либо аппарат был передвинут с одной стороны помещения на другую, и узнать, с какой целью.

Много ключей к успеху. Такое разнообразие приборов обеспечивает инспекторам мощную поддерж-



ку в виде комплекса ресурсов, дополняющих и увеличивающих их собственные обширные знания и опыт.

Однако в конечном счете инспекции в Ираке зависят от факторов, на которые не влияют опыт и техническое оснащение инспекторов. Как подчеркнул Генеральный директор МАГАТЭ Мохамед эль-Бароди, успех будет зависеть от пяти взаимосвязанных предварительных условий: 1) немедленного и ничем не ограниченного доступа ко всем местоположениям и площадкам в Ираке и использования в полном объеме полномочий, предоставленных инспектирующим организациям Советом Безопасности; 2) своевременного доступа ко всем источникам информации, включая всю информацию, имеющуюся в распоряжении государств; 3) единодушной и полной поддержки со стороны Совета Безопасности в течение всего процесса инспекций; 4) сохранения объективности и беспристрастности инспекционного процесса, свободного от вмешательства извне; и 5) активного сотрудничества со стороны Ирака при постоянной демонстрации заявленного им желания обеспечить прозрачность и помогать инспектирующим организациям полностью выполнить возложенные на них миссии.

Этот доклад впервые появился на страницах сайта МАГАТЭ WorldAtom www.iaea.org. Обратитесь на этот сайт за получением последних данных по инспекциям МАГАТЭ в Ираке и другим темам.

Фото: Изображения с коммерческого спутника и цифровых систем мониторинга анализируются в рамках операций инспекторов МАГАТЭ в Ираке.

(Предоставлено: Calma/IAEA)

■ **Продукты деления и активации.** Мазковые пробы могут быть взяты внутри горячих камер, где отработавшее реакторное топливо подвергалось обработке в предыдущие годы. Можно ожидать, что соотношения продуктов деления и активации, измеренные методом ГСВР, укажут на результаты радиоактивного распада в течение этого времени. Представляют интерес такие радионуклиды, как церий-144 и европий-154, имеющие период полураспада от менее одного года до девяти лет. Мазки измеряются по мере получения в течение 24 часов, и результаты по каждому изотопу выражаются как соотношение активности по сравнению с цезием-137.

■ **Частицы, содержащие плутоний.** Подготовка проб для исследования частиц методом СЭМ включает прикосновение к поверхности мазка плотно прилегающим углеродным диском. Частицы удаляются с поверхности мазка и удерживаются на диске электропроводящей силой сцепления. После помещения заготовки в электронный микроскоп начинается обычный процесс автоматического поиска частиц, характеризующихся сильным сигналом обратного электронного рассеяния, связанного с присутствием тяжелых элементов.

Каждая идентифицированная таким образом частица измеряется методом энергодисперсионной рентгено-флуоресцентной спектроскопии (ЭДР), и результаты хранятся для последующего рассмотрения аналитиком. Процедура автоматического измерения, как правило, продолжается от четырех до шести часов и охватывает несколько квадратных миллиметров поверхности пробы. После сортировки и изучения данных ЭДР аналитик отбирает ряд представляющих интерес частиц для более детальных измерений рентгеновским спектрометром с дисперсией по длине волны (ВДР). Это делается для точных измерений соотношений ак-

тивидных элементов, таких как уран/плутоний или америций/плутоний, в каждой частице. Относительная концентрация этих элементов в такой частице дает информацию о протекании процесса облучения уранового топлива во времени и позволяет узнать, проводились ли операции по химическому разделению.

Для частиц плутония, где наблюдается вращение америция-241, оно служит мерой времени с момента последней химической очистки плутония. Такая способность к "определению возраста" полезна при применении гарантий для остановленных или снятых с эксплуатации установок, чтобы обнаружить, проводились ли на них в последнее время операции по химическому разделению. При оценке результатов таких измерений принимается во внимание, что количество плутония в частице диаметром в 1 мкм составляет лишь несколько пикограммов (примерно 10^{10} атомов), а рентгено-флуоресцентный спектрометр может обнаружить такие малые компоненты, как америций, которые находятся в низком фемтограммовом диапазоне.

■ **Измерения обогащения урана в частицах.** Преимуществами метода СЭМ/РФ являются высокая элементная чувствительность и возможность сортировки и измерения большого числа частиц. Основным его недостатком, однако, в том, что этот метод не дает информации об изотопном составе урана или плутония, что может иметь критически важное значение. Для этой цели аналитики применяют метод вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС), используя систему видеодетектирования для получения пространственно решенных изображений для каждого представляющего интерес изотопа. "Обогащение" каждой частицы рассчитывается путем сравнения полного аккумулярованного счета изотопов урана-235 и урана-238; проводится также монито-

ринг других изотопов для обнаружения возможных молекулярных интерференций.

Автоматическое измерение площади в несколько квадратных миллиметров может охватить свыше 200 полей, содержащих до нескольких тысяч частиц урана. При выводе диаграммы рассеяния в целях анализа частицы высокообогащенного урана можно легко идентифицировать. Однако аналитики должны учитывать неопределенность данного измерения, в котором доминирует статистическая ошибка подсчета изотопа, находящегося в меньшинстве (в большинстве случаев урана-235).

■ **Измерения урана и плутония.** Одним из наиболее трудоемких видов измерений, применяемых к мазковым пробам окружающей среды, является так называемый "балковый анализ". Он производится путем растворения всей пробы, добавления трэйсеров разделенных изотопов, химического разделения и очистки фракций урана и плутония для измерения методом термальной ионизационной масс-спектрометрии (ТИМС). Изотопные добавки совершенно чисты по своим характеристикам и предоставляются в аттестованных концентрациях.

Например, мазковые пробы могут быть взяты на установке по изготовлению топливных элементов из высокообогащенного урана (ВОУ) для реакторов. В пробах ясно видно присутствие плутония. Пробы могут также показать самую высокую концентрацию ВОУ, свидетельствуя о корреляции между ВОУ и плутонием. Это иллюстрирует чувствительность применяемого метода.

■ **На службе глобальных целей.** Более пяти лет постоянной практики применения ОПГ позволили МАГАТЭ сделать определенные выводы о значении взятия проб и методах их анализа. Хотя ОПГ, как и другие аналитические инструменты, сам по

себе не является панацеей, эти методы позволяют получить критически важную информацию. Первостепенное значение имеют соотношения изотопов, так как они раскрывают историю ядерного материала и последствия обогачения или нейтронного облучения. Соотношения продуктов деления или активации могут служить полезным средством определения степени выгорания реакторного топлива и времени

его разгрузки из реактора. Методы “определения возраста” также могут использоваться для проверки состояния остановленных установок.

Следует отметить, что аналитические методы, используемые ОПГ, непосредственно применимы в других областях, некоторым образом связанных с анализом. Одной из них является анализ ядерных материалов, конфискованных таможенными или

полицейскими с лужбами в связи со случаями их незаконного оборота, что означает появление новой области – “ядерной судебной экспертизы” (см. вставку на данной стр.). Как и в случае международных гарантий и ядерных инспекций в Ираке, международное сообщество может извлечь значительную пользу из применения научных методов для решения важных глобальных задач. □

СУДЕБНАЯ ЭКСПЕРТИЗА И НЕЗАКОННЫЙ ОБОРОТ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Взятие отпечатков пальцев и судебная экспертиза играют важную роль в уголовном праве в течение более ста лет. По мере прогресса науки и техники методы расследования становились все более изощренными, так что теперь специалисты могут извлечь генетический материал из единственного волоска.

В сравнительно новой области “судебной экспертизы ядерных материалов”, сосредоточенной на анализе характера использования и происхождения ядерных материалов, в настоящее время применяются аналогичные методы в целях определения с большой степенью точности характеристик материалов. Как и при взятии отпечатков пальцев человека, ядерный материал можно идентифицировать, исследовать и охарактеризовать. “Ядерные отпечатки” материала можно получить в результате определения его радиоизотопного состава, изотопных и масс-соотношений, возраста, содержания примесей, химической формы и физических параметров. Результаты тестов вместе с другими собранными свидетельствами дают возможность точно установить наличие самых минимальных количеств материала. Разработанные для этих целей аналитические методы используются при применении международных гарантий, а также в судебной экспертизе ядерных материалов.

В современном меняющемся мире МАГАТЭ совместно с Институтом трансурановых элементов Объединенной исследовательской комиссии Европейского союза первыми начали оказывать помощь странам в создании системы более эффективного реагирования на случаи ядерной контрабанды. Первоочередная задача состоит в модернизации средств точной идентификации и характеристики конфискованного материала. Соответствующие исследования лучше всего проводить в лаборатории, уже освоившей в высшей степени сложную методику, где можно анализировать как ядерные, так и неядерные материалы – от сургуча, стекла и бумаги до остаточных радионуклидов.

В октябре 2002 г. международные эксперты в этой сфере рассмотрели состояние дел на Международной конференции МАГАТЭ по достижениям в области разрушающего и неразрушающего анализа для мониторинга окружающей среды и судебной научно-технической



ядерной экспертизы, состоявшейся в Карлсруэ, Германия. Среди участников были ученые из научно-исследовательских лабораторий и сотрудники правоохранительных органов, которые рассмотрели широкий круг вопросов – от сбора, охраны и анализа материала до правовых систем и требований в различных странах. Также обсуждалась роль МАГАТЭ в коллективных усилиях по борьбе с незаконным оборотом ядерных материалов, включая помощь аналитическим лабораториям и консультации по безопасности обращения с образцами, конфискованными при пресечении незаконного оборота материалов.

Кроме того, обсуждались технологии идентификации происхождения конфискованных материалов в случаях незаконного оборота ядерных материалов. Вопрос о способах дальнейшего укрепления стратегий обеспечения сохранности ядерных материалов и сотрудничества аналитических лабораторий был в центре внимания участников Конференции. Было запланировано, среди прочего, оказывать специализированную международную поддержку требуемой аналитической работе. -- *Этот доклад впервые появился на сайте МАГАТЭ [WoldAtom www.iaea.org](http://www.iaea.org). Посетите сайт для получения дополнительной информации.*

Фото: Образцы могут анализироваться на наличие “ядерных отпечатков”. (Предоставлено: IAEA)