

# Следы-доказательства

Лотар Кох

## СУДЕБНАЯ ЭКСПЕРТИЗА И НЕЗАКОННЫЙ ОБОРОТ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В** 1994 г. после окончания обыска в доме известного преступника полиция Баден-Вюртемберга, Германия, случайно наткнулась на образец плутония. Анализ в Европейском институте трансурановых элементов (ИТЭ) в Карлсруэ выявил состав сплава, используемый только для “атомных бомб”.

К сожалению, это был не единичный инцидент. В банке данных МАГАТЭ имеется перечень других известных случаев незаконного оборота ядерных или других радиоактивных материалов. (См. вставку “Случаи незаконного оборота ядерных и радиоактивных материалов”). Помимо традиционной обеспокоенности по поводу распространения ядерного оружия после событий 11 сентября общественность опасается возможного нападения террористов с использованием ядерных или радиационных дисперсных устройств (РДУ). До сих пор задержанные количества материалов были недостаточны для изготовления ядерного взрывного устройства, но их могло бы хватить для изготовления РДУ.

Признавая наличие скрытой глобальной угрозы здоровью и безопасности населения, государства “большой восьмерки” (Япония, США, Германия, Франция, СК, Италия, Канада и Россия) обратились к другим правительствам с призывом предпринимать “совместные усилия по идентификации и устранению незаконного предложения и спроса на расщепляющиеся материалы в целях противодействия преступным элементам”. Все более важное значение приобретает одна из мер, а именно идентификация задержанного материала и прослеживание его до источника происхождения – такова цель новой научной дисциплины, называемой ядерной судебной экспертизой.

### План действий

Все чаще мы узнаем о случаях, когда ядерный или другой радиоактивный материал неизвестного происхождения вы-

деляется в окружающую среду или оказывается в незаконном владении в результате:

- аварий, связанных с дисперсией материала;
- незаконного сброса ядерных скрапа или отходов;
- выбросов следов заявленной или тайной деятельности;
- наличия ставших бесхозными радиоактивных источников;
- переключения ядерного материала;
- незаконного оборота ядерных или других радиоактивных материалов.

При расследовании таких случаев возникают вопросы о предполагаемом предназначении, происхождении и – если применимо – путях контрабанды обнаруженного материала. С этой целью Международная техническая рабочая группа по ядерной контрабанде разработала “Типовой план действий”, где перечисляется ряд шагов, которые должны быть предприняты при обнаружении или задержании материала. МАГАТЭ и ИТЭ совместно оказали помощь государствам-членам в реализации и применении этих мер путем проведения показательного учения. В результате соответствующей подготовки персонала и повышения уровня технического оснащения правоприменительные службы в этих государствах ныне способны установить, в какой степени задержанный ядерный материал может представлять производственную опасность или угрозу для населения. В случае необходимости научные работники из соответствующих государств с помощью ядерных судебных экспертов ИТЭ составят характеристику материала с целью выяснить предполагаемое назначение, происхождение и путь контрабанды задержанного материала.

### Вырабатывается модель исследования

Схема изучения ядерного или радиоактивного материала мало чем отличается от классической судебной экспертизы. Прежде чем принять на исследование задержанный материал, соответствующие исполнители осуществляют необходимые меры предосторожности для защиты себя и окружающих (с соблюдением последовательности передачи контроля над материалом, требуемой в данном государстве). Следы (волокна, пыль, ДНК, отпечатки пальцев и т. п.) с загрязненных поверхностей желательно собирать в предназначенных для этого лабораториях.

Каким образом ядерная судебная экспертиза помогает решить загадку? Она обеспечивает предоставление ценных

доказательств, основанных на том, что в каждом ядерном или радиоактивном материале изотопный состав входящих в него химических элементов уникален и отличается от состава элементов в природных условиях. Характер распространенности изотопов отражает процессы обогащения и облучения в ядерных реакторах. Тот же принцип используется в геохронологии и космологии, но ядерная экспертиза имеет дело со множеством искусственных нуклидов, образование ядер которых хорошо известно. Соотношение родительских и дочерних нуклидов дает возможность установить промежуток времени, в течение которого происходит ядерная реакция или последующая химическая обработка. Распространенность радионуклидов раскрывает тип и условия их производства.

В 1994 г. правоприменительные органы изъяли в аэропорту Мюнхена 363 г плутония (Pu). Однако возникло подозрение, что материал – “подделка” и составлен из материалов ранее идентифицированных источников. Анализ смеси частиц урана (U) и окиси плутония (Pu) показал, что Pu формировался в необычном энергетическом спектре мягкого нейтронного излучения. Это доказывало, что частицы имеют одинаковый возраст и не произведены и образованы из известных источников. Такая эндогенная информация – изначально “впечатанная” в материале – позволяет распознать его предполагаемое назначение. Однако она не дает указаний на географическое место его производства. К счастью, все ядерные и радиоактивные продукты должны иметь детальную характеристику в отношении обеспечения качества и безопасности. Конкретные условия производства на предприятии и различные спецификации материала делают каждый продукт уникальным. Эти спецификации систематически заносятся в базу данных, позволяя судебным экспертам сопоставлять характеризующий материал и регистрационные записи предприятия. Такое сопоставление дает убедительное доказательство происхождения материала.

Конечно, в начале анализа история исследуемого материала неизвестна. Поэтому аналитик сначала должен определить ряд его базовых данных и затем вести поиск в архивных регистрационных записях предприятия или других соответствующих имеющихся базах данных. Следуя принципу диагностирования и получая дополнительно запрошенные данные, аналитик постепенно исключает предполагаемые возможные места происхождения материала, пока в конце концов не остается одно только место возможного происхождения. Иными словами, аналитическое расследование руководствуется и определяется наличием соответствующей “исторической” информации.

## Используемые для анализа средства

Ядерная судебная экспертиза может опираться на самые разнообразные широко применяемые и признанные методы. Аналитический инструментальный и процедуры, используемые в производстве радиоактивных и ядерных материалов, не только применимы, но и необходимы для получения равноценной по качеству информации, которая требуется для

### СРЕДСТВА АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

| Для материала, имеющего массу или объем    | Датирование | Радиотоксичность | Использование | Происхождение |
|--|-------------|------------------|---------------|---------------|
| Оптическая микроскопия                     |             |                  | X             | X             |
| Гамма- и альфа-спектроскопия               | X           | X                |               |               |
| МС* с индуктивно наведенной плазмой        | X           | X                | X             | X             |
| МС* с разрядным свечением                  |             | X                |               |               |
| Микрозондирование                          |             |                  |               | X             |
| Электронная микроскопия + EDX**            |             |                  |               | X             |
| Дифракция рентгенолучей                    |             |                  |               | X             |
| МС* тепловых ионов + изотопное разбавление | X           | X                |               | X             |
| <b>Для частиц</b>                          |             |                  |               |               |
| Электронная микроскопия                    |             |                  |               | X             |
| МС* вторичных ионов                        | X           | X                |               | X             |

\* МС – масс-спектрометрия

\*\* EDX – рентгенографический анализ методом энергетической дисперсии

сравнения с регистрационными записями предприятия. Во вставке об аналитических средствах (см. вставку “Средства аналитических методов”) кратко перечислены наиболее распространенные методы анализа, используемые в настоящее время. Они объединены в группы по характеру осуществляемых с их помощью операций:

- измерение веса и размеров материалов, например топливной таблетки;
- определение распространенности основных нуклидов, например при обогащении урана-235;
- анализ химического состава;
- описание микроструктуры; и
- анализ примесей.

Иногда для сравнения с имеющимися, но очень конкретными прошлыми данными ядерному судебному эксперту требуются специальные анализы, такие как определение степени шероховатости поверхности топлива, размера крупинок и т. д.

Ядерная судебная экспертиза, подобно классической судебной экспертизе и геохимии, использует методы химического анализа, а также оптическую и электронную микроскопию. Особенно важны методы масс-спектрометрии. Некоторые из них также широко применяются для анализа следов природных элементов (например, масс-спектрометрия с плазменным наведением или искровым источником, напылением или лазерной абляцией); но в ядерной судебной экспертизе неопровержимую информацию дают измерения изменений в распространенности определенных изотопов. Для нуклидов с высокой удельной радиоактивностью подходящими средствами анализа являются радиометрические методы, в особенности альфа- и гамма-спектрометрия. Четкие характеристики частиц, даже если они содержат слабоактивные изотопы, можно получить методом электронной микроскопии в сочетании с масс-спектрометрией вторичных ионов. Соответствующая инструментальная база обеспечивает сочетание высокого пространственного разрешения с очень хорошей чувствительностью методов химического детектирования и высоким разрешением по массе (изотопов).

## Характерные примеры

В базе данных МАГАТЭ содержатся сведения о двух имевших место инцидентах, анализ которых был проведен в

ИТЭ и которые иллюстрируют использование методов ядерной судебной экспертизы.

В Ульме, Германия, полиция обнаружила в банковском сейфе 202 радиоактивные таблетки. Форма таблеток указывала на то, что они представляют собой ядерное топливо для легководного реактора. Анализ обнаружил обогащение 4,38% по U-235, что свидетельствовало об их предназначении для новой загрузки. Примеси соответствовали спецификациям двух заводов по изготовлению ядерного топлива, которые производят такие таблетки. В этой ситуации требовалась дополнительная информация – пусть и менее значимая в техническом смысле – по примесям [такая как характерное содержание натрия (Na) в диапазоне 1 частица на миллиард от близлежащего завода по производству каустической соды] или по разнице в методах производства, выражающейся в разной шероховатости поверхности таблеток. Именно последняя информация в конце концов позволила определить искомый завод происхождения, поскольку было известно, что там применяется мокрое шлифование, дающее более гладкую поверхность по сравнению с сухой шлифовкой, используемой в других местах.

Масс-спектрометрия вторичных ионов используется для замеров степени обогащения по U-235 в частицах мазковых проб с целью обнаружить следы тайного обогащения урана на основании собранных МАГАТЭ проб окружающей среды. С помощью этого эффективного метода были также обнаружены частицы с 87,8% содержания U-235 в радиоактивном предмете из нержавеющей стали, найденном на складе металлोलлома металлоперерабатывающего завода. По форме его опознали как топливную сборку быстрого реактора. Обычное обогащение по U-235 для быстрых реакторов составляет 19%, что непригодно для оружейного использования. Поэтому был сделан вывод, что эта сборка является прототипной для известного реактора малой мощности для испытания материалов. Топливо, изготовленное пирохимическими методами, было изъято из сборки с помощью непрофессиональной абразивной вырезки стержней. Интересно отметить при этом, что изъятые топливо незаконно переправлялось отдельными партиями через несколько государств, прежде чем было задержано полицией. Образцы всех задержанных материалов были идентичны по обогащению U-235 и примесям.

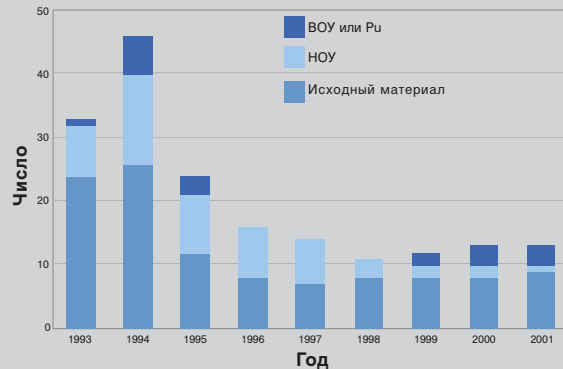
## Пока “скользим по поверхности”

Для раскрытия истории неизвестного ядерного или радиоактивного материала до сих пор ощущается потребность в новых методах. В ходе введущихся исследований и разработок должны быть получены методики более точного анализа и более убедительная интерпретация результатов, чтобы читать эндогенную информацию, заложенную в материале. В будущем должно стать легче обнаруживать различия между разными процессами обогащения по U-235, воссоздавать историю эксплуатации завода по переработке на основе анализа его отходов и распознавать стадии процесса изготовления материала.

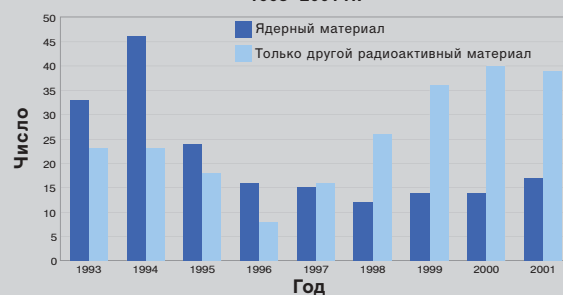
Соответствующие аналитические средства и методы уже широко используются. Однако только немногие лаборатории имеют лицензию для работы с ядерными или радиоактивными материалами. В связи с этим МАГАТЭ рассматри-

## СЛУЧАИ НЕЗАКОННОГО ОБОРОТА ЯДЕРНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПОДТВЕРЖДЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ С ЯДЕРНЫМ МАТЕРИАЛОМ  
1993–2001 гг.



ПОДТВЕРЖДЕННЫЕ ИНЦИДЕНТЫ С ЯДЕРНЫМ МАТЕРИАЛОМ И РАДИОАКТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ  
1993–2001 гг.



Источник: Банк данных МАГАТЭ

вает возможность создания международной сети лабораторий по ядерной судебной экспертизе, которая оказывала бы услуги государствам-членам в идентификации и характеристике неизвестного материала. Ученые смогли бы посещать лаборатории сети, чтобы наблюдать исследование материала, задержанного в их государстве.

Все накопленные данные играют важнейшую роль в определении происхождения материала. Поскольку доступ к такой информации ограничен рамками закона, коммерческой чувствительностью и соображениями национальной безопасности, было предложено договориться об организационной сети банков данных только в целях поиска. Аналитические расследования проводились бы через эту сеть до тех пор, пока результаты не выявили бы совпадение в одной из баз данных. Будет ли результат обнародован, не должно иметь большого значения, если последний законный владелец сможет признать свой материал и закрыть обнаруженную лазейку для злоумышленников.

*Лотар Кох сотрудничал с МАГАТЭ по проблеме незаконного ядерного оборота. Недавно он ушел с поста директора отдела в Европейском институте трансуранных элементов, Карлсруэ, Германия. Эл. почта: koch.weingarten@t-online.de.*