

УДК 614.484

EDN: EJFRWN

Способ экспресс-обнаружения аэрозолей урана и его соединений в воздухе

ISSN 1996-8493

DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

© Технологии гражданской безопасности, 2023

Е.Г. Касперович, В.А. Пашинин, Е.И. Янзин

Аннотация

В статье предложен способ экспресс-обнаружения урана и урансодержащих соединений, находящихся в воздушной среде в виде аэрозолей, с применением простейших средств и приборов радиационной и химической разведки, имеющимися в штатных и нештатных аварийно-спасательных формированиях МЧС России. Авторы использовали экспериментальные, аналитические и информационные методы, описали способ обнаружения урана и урансодержащих соединений, находящихся в воздушной среде в виде аэрозолей.

Ключевые слова: боеприпасы с обедненным ураном; портативная химическая экспресс-лаборатория модульного типа; радиационная, химическая и биологическая защита; соединения урана; экспресс-обнаружение.

Rapid Detection Method of Uranium Aerosols and Its Species in the Air

ISSN 1996-8493

DOI: 10.54234/CST.19968493.2023.20.3.77

© Civil Security Technology, 2023

E. Kasperovich, V. Pashinin, E. Yanzin

Abstract

The article proposes method for rapid detection of uranium and uranium-containing species in the air in the form of aerosols, using the simplest means and devices of radiation and chemical reconnaissance available in the Emercom of Russia regular and non-professional emergency response teams.

The authors used experimental, analytical and informational methods, described the method for detecting uranium and uranium-containing species in the air in the form of aerosols.

Key words: depleted uranium ammunition; portable chemical modular type express laboratory; radiation, chemical and biological protection; uranium compounds; express detection.

27.07.2023

Введение

В настоящее время в линейке приборов экспресс-обнаружения загрязненности поверхностей объектов ураносодержащими соединениями, которые имеются в штатных и нештатных аварийно-спасательных формированиях МЧС России, а также подразделениях радиационной, химической и биологической РХБ защиты Минобороны России, отсутствуют приборы, способные осуществить экспресс-обнаружение урана и его соединений, находящихся в воздушной среде в виде различных видов аэрозолей, с порогом обнаружения 0,05–0,1 мг/л, без направления проб на лабораторные исследования [1].

В статье предложен способ обнаружения загрязнений воздуха соединениями урана вследствие применения боеприпасов с обедненным ураном и аварий на радиационно-опасных объектах с использованием аэрозольных устройств и простейших приборов химической разведки, имеющихся в штатных и нештатных аварийно-спасательных формированиях МЧС России.

Внедрение таких способов обеспечит возможность экспресс-обнаружения загрязненности воздушной среды ураном и его соединениями с целью своевременного принятия мер по защите и обеззараживанию.

1. Свойства боеприпасов с обедненным ураном

В большинстве современных бронебойных боеприпасов в качестве основного материала сердечника используется вольфрам либо уран. Хотя плотность у вольфрама больше урана (W — 19,25 г/см³, U — 19,05 г/см³), имеют значение также и физико-химические свойства этих металлов (снаряды с урановым сердечником поражают не только за счет кинетической энергии, но и за счет химической активности урана). Урановый сердечник, в отличие от вольфрамового, в процессе пробития брони склонен к абляционному срезанию (самозатачиванию), а образовавшиеся мелкие частицы (осколки разрушившегося сердечника) обладают экзотермическим эффектом, самовоспламеняются и вызывают внутри пораженного объекта пожар. Это и обуславливает «особые» бронебойные свойства боеприпасов с обедненным ураном, порядка 8–10 процентов по сравнению с обычными боеприпасами¹.

Однако кроме высокой пробивной способности брони техники и железобетонных сооружений, боевое применение боеприпасов с обедненным ураном чревато химическим и радиологическим поражением. При взрыве боеприпаса с обедненным ураном урановый сердечник разрушается, в результате чего образуется большое количество урановой пыли — аэрозоля. Взвешенные в воздухе частицы разносятся ветром на широкие пространства, попадая на окружающие поверхности почвы и предметов и в организм человека путем вдыхания либо с пищей и водой. Они поражают прежде всего иммунную систему и приводят к мутации

клеток, вследствие чего наступает развитие злокачественных новообразований и хромосомных нарушений. Это подтверждено показателями роста заболеваемости в районах применения боеприпасов с обедненным ураном в Ираке и Югославии [1].

Так, в восточных областях Польши, которые граничат с Украиной, были зафиксировали скачки радиации. Польские регионы накрыло облако, которое образовалось после поражения военных складов ВСУ в Хмельницком. Предположительно, на этих складах хранили танковые снаряды с обедненным ураном, которые были получены Украиной от Великобритании.

16 мая текущего года в Люблине станция контроля зарегистрировала резкий скачок уровня висмута в воздухе в 6–7 раз. Висмут — это продукт распада обедненного урана, который страны Запада используют в своих боеприпасах.

Пользователи социальных сетей в Польше прямо указывают на то, что радиационная угроза поступила с Украины, где Вооруженные силы Российской Федерации ликвидировали склад с боеприпасами, поставленными западными странами.

Другим доказательством, что радиация пришла с территории Украины, является направление ветра, который в последние дни как раз дул в направлении Польши. Облако продолжало двигаться через польские земли в направлении Германии. Если данное облако накроет дождь, то радиоактивные материалы выпадут на землю².

2. Способ экспресс-обнаружения аэрозолей урана и его соединений в воздухе

Опыт ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС показал, что для обнаружения выбросов радиоактивных веществ из 4 реактора использовался метод ежедневного облета вокруг реактора на вертолете на различных высотах с отбором проб воздуха на фильтры, фиксации при этом уровня радиации прибором радиационной разведки и последующим анализом этих фильтров в лабораторных условиях для изучения изотопного состава выбросов на гамма-спектрометре (рис. 1).

Существующие методы обнаружения радиоактивных загрязнений основаны на применении высокочувствительных портативных дозиметров. Однако данные



Рис. 1. Фото облета 4 реактора на вертолете с отбором проб воздуха на фильтры при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС для контроля выбросов из реактора³

¹ http://bvt.narod.ru/4/bps_uran.htm#:~:text=Хотя%20плотность%20у%20вольфрама%20больше,химической%20активности%20урана%2C%20являющегося%20f-элементом (дата обращения: 25.07.2023).

² <https://newsrumedia.com/politika/38274-chelindustryru-oblako-radiatsii-steritorii-ukrainy-nakrylo-vostochnye-regiony-pol/shi,full.html#> (дата обращения: 18.06.2023).

методы применимы в основном в случае обнаружения радиоактивных изотопов U^{235} . Но их применение ограничено в случае применения обедненного урана, состоящего в основном из малорадиоактивного изотопа U^{238} , который используется для изготовления бронебойных снарядов, используемых ВСУ на Украине.

Описаны методы определения урана и тория в сложных образцах с использованием хроматографического разделения, ICP-MS и спектрофотометрического детектирования [2], определения чрезвычайно низких соотношений изотопов U^{236}/U^{238} в пробах окружающей среды методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [3], спектрофотометрического определения урана в воде с 2-(2-хинолилазо)-5-димиламинофенолом [4].

В работах китайских ученых описан также метод обнаружения соединений урана в воздухе с помощью полевой спектрометрии, в частности с использованием портативного фотометра [5].

Однако данные методы основаны, в основном, на использовании сложного дорогостоящего аналитического оборудования.

Авторами статьи был проведен эксперимент по проверке возможности группового экспресс-обнаружения всех изотопов урана и его соединений, находящихся в воздухе в виде аэрозолей, с использованием портативной химической экспресс-лаборатории модульного типа ПХЛ МТ и войскового прибора химической разведки ВПХР. Результаты эксперимента представлены ниже.

Для обнаружения соединений урана в воздухе осуществлялась прокачка воздуха через фильтр с последующим использованием аэрозольных устройств АУ-9/1 (для перевода нерастворимых соединений урана в растворимую форму) и АУ-9/2 (для обнаружения



Рис. 2. Насос от прибора ВПХР с прикрепленной насадкой и установленным противодымным фильтром⁴

соединений урана) из комплекта ПХЛ МТ и штатный насос от прибора ВПХР с прикрепленной насадкой и установленным противодымным фильтром [6–8]. Внешний вид насоса с насадкой и фильтром представлен на рис. 2. В качестве имитатора урана использовалась рецептура АУ-9ск из комплекта аэрозольных устройств с имитационными рецептурами ПХЛ МТ.

Обнаружение аэрозолей урана в воздухе осуществляют следующим образом. На противодымный фильтр для перевода соединений урана в растворимую форму с расстояния 10–15 см производят кратковременное (в течение 1–2 секунд) распыление рецептуры из аэрозольного устройства АУ-9/1 и осуществляют прокачивание воздуха насосом (50–60 качаний). Спустя 1–2 минуты на этот фильтр наносят индикаторную рецептуру из аэрозольного устройства АУ-9/2 и наблюдают появление характерного

окрашивания в соответствии с индикационным эффектом на аэрозольном устройстве АУ-9/2 [9–10].

В ходе эксперимента для имитации наличия урана в воздухе в процессе прокачивания в воздух распылялась имитационная рецептура АУ-9ск. Кроме того, для получения более четкого индикационного эффекта вместо противодымного фильтра ВПХР были использованы косметические ватные диски. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

С целью оценки предполагаемой чувствительности обнаружения аэрозолей соединений урана в воздухе были проведены эксперименты по возможности обнаружения имитационной рецептуры АУ-9ск, разведенной в 10 раз (концентрация хлорного железа 1%) и разведенной в 100 раз (концентрация хлорного железа 0,1%).

Результаты испытаний приведены на рис. 4 и 5.



Рис. 3. Слева установленный в насос ватный диск с нанесенной рецептурой АУ-9/1. Справа результат после прокачивания при распылении имитационной рецептуры АУ-9ск в концентрации 10% и нанесения индикационной рецептуры АУ-9/2⁵



Рис. 4. Слева — установленный в насос ватный диск с нанесенной рецептурой АУ-9/1. Справа — результат после прокачивания при распылении имитационной рецептуры АУ-9ск в концентрации 1% и нанесения индикационной рецептуры АУ-9/2⁶



Рис. 5. Слева — установленный в насос ватный диск с нанесенной рецептурой АУ-9/1. Справа — результат после прокачивания при распылении имитационной рецептуры АУ-9ск в концентрации 0,1% и нанесения индикационной рецептуры АУ-9/2⁷

³ Фото из открытых источников: https://avatars.mds.yandex.net/get-images-cbir/2911515/Oshx0rAZ16nW_lj5FBldA7522/osr/ (дата обращения: 09.08.2023).

⁴⁻⁷ Фото из личного архива Касперовича Е.Г.

Результаты эксперимента показывают возможность проведения экспресс-обнаружения урансодержащих соединений в воздушной среде с использованием портативной химической экспресс-лаборатории модульного типа ПХЛ МТ и насоса с насадкой прибора ВПХР в виде аэрозолей, дисперсностью порядка 100–200 мкм в концентрациях порядка 0,1 мг/л.

В эксперименте использовался насос прибора ВПХР, однако в целях прокачивания воздуха через фильтр может использоваться любое просасывающее устройство при условии обеспечения прокачивания воздуха по всей площади фильтра.

Заключение

Авторами предложен способ экспресс-обнаружения урана и урансодержащих соединений, находящихся в воздушной среде в виде аэрозолей, с применением

простейших средств и приборов химической разведки, имеющихся в штатных и нештатных аварийно-спасательных формированиях МЧС России с порогом обнаружения 0,05–0,1 мг/л.

Данный способ может найти применение в следующих областях:

выявление наличия урансодержащих соединений в воздухе на гражданских и военных объектах, объектах ядерной энергетики ядерного и энергетического цикла, исследовательских организациях и учебных заведениях, работающих с данными соединениями;

выявление фактов применения в военных конфликтах соединений урана (боеприпасы с урановыми сердечниками и др.);

оценка последствий применения боеприпасов с обедненным ураном в ходе военных конфликтов и аварий на объектах ядерной энергетики для принятия мер по защите населения и территорий.

Литература

1. Шевченко А. В. Современная номенклатура средств противорадиационной, противохимической, противобиологической защиты населения для реализации дифференциального подхода к защите населения, // Технологии гражданской безопасности. 2019. Т. 16. № 1(59). С. 68–77.
2. Розмарич М., Ивсич А. Г., Грахек З. Определение урана и тория в сложных образцах с использованием хроматографического разделения, ICP-MS и спектрофотометрического детектирования // Talanta. 2009, 15 ноября;80(1):352–62. DOI: 10.1016/j.talanta.2009.06.078. Epub 2009, 8 июля. PMID: 19782236.
3. Булыга С. Ф., Хойманн К. Г. Определение чрезвычайно низких соотношений изотопов ($^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$) в пробах окружающей среды методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в секторном поле с использованием высокоэффективного введения образца // J Environ Radioact. 2006;88(1):1–10. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2005.12.007. Epub 2006, 28 февраля. PMID: 16504353.
4. Ван Л., Юань З. Б., Ху К. Ф., Ян Г. Ю., Ин Джи. Исследование твердофазной экстракции и спектрофотометрического определения урана в воде с 2-(2-хинолилазо)-5-димтиламинофенолом // Гуан Пу Сюэ Юй Гуан Пу Фен Хэ. 2005 Май; 25 (5):768–71. PMID: 16128085 китайский.
5. Я-Синь Ян 1, Сай-Цзинь Сяо, Цин-Чэн Лю, Лонг-Чжу Хуан, Дао-Фенг Пэн: Обнаружение следов урана в воздухе с помощью полевой спектрометрии // Гуан Пу Сюэ Юй Гуан Пу Фен Си. Июль 2012; 32 (7):1939–42, PMID: 23016358, статья на китайском языке.
6. Экспресс-обнаружение урансодержащих соединений на поверхностях объектов и в водной среде при исследовании последствий применения снарядов с обедненным ураном / Е. Г. Касперович, В. А. Пашинин, А. А. Пашкова, Е. И. Янзин // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20, № 2 (76). С. 20–25. EDN: RMMHSH.
7. Пашинин В. А., Косырев П. Н., Посохов Н. Н. и др. Отчет о НИР «Разработка способа группового экспресс-обнаружения агрессивных химических веществ и соединений урана в воде» (заключительный). М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 80 с.
8. Посохов Н. Н., Пашинин В. А., Косырев П. Н. и др. Патент на изобретение № 2778643 «Способ экспресс-обнаружения и групповой идентификации типа агрессивных химических веществ и соединений урана в воде и комплект для его осуществления».
9. Татаринов В. В., Пашинин В. А., Косырев П. Н. Экспресс-обнаружение зараженности поверхностей объектов малолетучими токсичными химикатами // Вестник Академии военных наук. 2021. № 2(75). С. 119–124.
10. Пашинин В. А., Косырев П. Н., Посохов Н. Н., Сафонов А. В. Обнаружение загрязненности поверхностей объектов агрессивными химическими веществами и соединениями урана: Учебное пособие / Под общ. ред. д. т. н., проф. В. А. Пашинина. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. 79 с.

Сведения об авторах

Касперович Евгений Григорьевич: аспирант, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела. Москва, Россия. SPIN-код: 5101-5045.

Пашинин Валерий Алексеевич: д. т. н., проф., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела; проф. каф. «Химия и инженерная экология» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта». Москва, Россия. SPIN-код: 4277-4056.

Янзин Евгений Иванович: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), н. с. науч.-исслед. отдела. Москва, Россия. SPIN-код: 1232-9174.

Information about authors

Kasperovich Evgeniy G.: Graduate Student, VNIИ GOChS (FC), Senior Researcher, Research Department. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 5101-5045.

Pashinin Valery A.: ScD (Technical Sc.), Professor, VNIИ GOChS (FC), Senior Researcher, Research Department; Professor of the Department of Chemistry and Engineering Ecology, Russian University of Transport. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 4277-4056.

Yanzin Evgeniy I.: VNIИ GOChS (FC), Researcher, Research Department. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 1232-9174.