

УДК 543.399

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0032

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ СОЕДИНЕНИЯМИ УРАНА

© 2021

Пашинин Валерий Алексеевич, доктор технических наук, профессор,

профессор кафедры «Химия и инженерная экология»,

Ануфриева Светлана Михайловна, старший преподаватель кафедры «Химия и инженерная экология»*ИУЦТ, Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)**(127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, e-mails: pashininmiit@yandex.ru, miitkh@yandex.ru)***Панфилова Марина Ивановна**, кандидат химических наук, доцент кафедры ФиСА**Леонова Данута Амброжьевна**, старший преподаватель кафедры «Физики и строительной динамики»*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет**(129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mails: 012340@mail.ru, danuta1960@yandex.ru)***Ефремова Сания Юнусовна**, доктор биологических наук, профессор,

профессор кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»

*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: s_sharkova@mail.ru)*

Аннотация. Представлена разработка способа экспресс-обнаружения растворимых соединений урана в воде. Предлагаемый способ заключается в распылении в сосуд с пробой воды индикаторной рецептуры из аэрозольного устройства путём многократного нажатия на головку насоса-распылителя. При этом за счёт создаваемого вакуума идет образование и распыление монодисперсного аэрозоля индикаторной рецептуры. При наличии в воде растворимых соединений урана практически мгновенно во всём объеме пробы воды появляется характерный индикационный эффект – красно-оранжевое окрашивание пробы. Определена чувствительность метода обнаружения загрязнения воды соединениями урана с помощью аэрозольного устройства, составляющая не менее 0,05 масс. %. По предлагаемому способу могут быть определены растворимые соли как радиоактивного Урана-235, так и малорадиоактивного Урана-238. При этом в пробе воды, не содержащей растворимых соединений урана, или содержащих их в меньших концентрациях (холостая проба) появляется слабое лимонно-жёлтое окрашивание.

Ключевые слова: аэрозольное устройство; загрязнение воды, индикаторная рецептура, индикационный эффект, метод обнаружения; соединения урана, экспресс-обнаружение.

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETECTING WATER POLLUTION
BY URANIUM COMPOUNDS**

© 2021

Pashinin Valery Aleksevich, doctor of technical sciences, professor,

professor of the department of Chemistry and Engineering Ecology

Anufrieva Svetlana Mikhailovna, senior lecturer of the department of Chemistry and Engineering Ecology*IUTC, Russian University of Transport RUT (MIIT)**(127994, GSP-4, Moscow, Obratsova Str., 9, p. 9, e-mails: pashininmiit@yandex.ru, miitkh@yandex.ru)***Panfilova Marina Ivanovna**, candidate of chemical Sciences, associate professor of the Department of FISA**Leonova Danuta Ambrogiana**, senior lecturer of the department «Physics and building aerodynamics»*Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse 26, e-mail: e-mails: 012340@mail.ru, danuta1960@yandex.ru)***Efremova Sania Yunusovna**, doctor of biological Sciences, professor,

professor of the department of Biotechnology and technosphere security

*Penza state University of technology**(440039, Russia, Penza, baidukova passage/Gagarin street, 1A / 11, e-mail: s_sharkova@mail.ru)*

Abstract. The development of a method for express detection of soluble uranium compounds in water is presented. The proposed method consists in spraying into a vessel with a sample of water indicator formulation from an aerosol device by repeatedly pressing on the head of the spray pump. At the same time, due to the vacuum created, a monodisperse aerosol of the indicator formulation is formed and sprayed. In the presence of soluble uranium compounds in the water, almost instantly in the entire volume of the water sample, a characteristic indication effect appears - a red-orange staining of the sample. The sensitivity of the method of detecting water contamination by uranium compounds using an aerosol device, which is not less than 0.05 masses, has been determined.%. According to the proposed method, soluble salts of both radioactive Uranus-235 and low-radioactive Uranus-238. At the same time, in a sample of water that does not contain soluble uranium compounds, or contain them in lower concentrations (blank sample), a weak lemon-yellow staining appears.

Keywords: aerosol device; water pollution, indicator formulation, indication effect, detection method; uranium compounds, express detection.

Введение. Актуальность работы заключается в том, что в связи с развитием атомной энергетики увеличивается количество радиоактивных отходов, которые требуют своевременной их утилизации. Как радиоактивный уран, так и радиоактивные отходы, содержащие малорадиоактивный изотоп Урана-238 являются сильно ядовитыми веществами и могут привести к онкологическим заболеваниям [1-3]. В последнее время участились аварии на различных предприятиях ядерного цикла, связанных с использованием и переработкой соединений урана, которые оказывают негативное влияние не только на людей, но и на окружающую среду.

В качестве примера можно рассмотреть катастрофу, произошедшую на четвёртом энергоблоке Чернобыльской атомной электростанции, случившуюся в ночь с 25 на 26 апреля 1986 года в Украине. Она стала самой крупной и масштабной аварией за всю историю атомной энергетики. В качестве основного топлива на АЭС использовался радиоактивный изотоп Уран-235. В результате аварии огромное количество различных радиоактивных веществ попало в атмосферу и выпало на почву, вследствие чего природе был нанесен непоправимый, колоссальный ущерб на сотни лет вперёд. При аварии произошло загрязнение радиоактивным ураном как большой территории, так и близлежащих водных объектов.

Радиационная авария в несколько меньших размерах произошла также в Японии на атомной электростанции в Фукусиме, следствием чего было загрязнение радиоактивными отходами больших объёмов воды в Тихом океане.

Во всех случаях инциденты (аварии) с радиоактивными и химически опасными веществами, к которым относятся и соединения урана, причиняется большой ущерб людям и экологии в целом, вследствие чего возникает необходимость определять наличие химически-опасных веществ не только на поверхности, но и в воде. В данной работе рассмотрены способы экспресс-обнаружения наличия соединений урана в воде, так как вода – одно из самых распространенных веществ на Земле. Проблемы загрязнения воды довольно актуальны в современном мире. В настоящее время существует большое количество источников загрязнения воды и своевременное их обнаружение поможет предпринять меры по ликвидации химически опасных веществ в кратчайшие сроки, с наименьшими потерями и избежать множество проблем в дальнейшем.

Ранее уже в ряде работ рассматривались различные методы обнаружения загрязнённости воды соединениями урана [4-6].

Но предложенные методы не позволяют провести анализы непосредственно в месте пробоотбора, довольно сложны в выполнении и требуют наличия довольно дорогостоящего аппаратного оформления.

Объектом исследования в данной работе служат уран и его соединения, которые вызывает радиоактивное и химическое загрязнение воды.

Целью данной работы является разработка метода экспресс-обнаружения загрязнения воды соединениями урана непосредственно в месте пробоотбора с применением индикаторных рецептур в аэрозольных устройствах.

Для достижения цели исследования, были поставлены следующие научные задачи:

1. Исследование и разработка способа экспресс-обнаружения соединений урана в воде.

2. Определение чувствительности метода обнаружения загрязнённости воды соединениями урана с применением индикаторной рецептуры в аэрозольном устройстве.

В данной статье рассматривается метод экспресс-обнаружения соединений урана. Ранее были описаны способы обнаружения агрессивных химических веществ и производных диметилгидразина с помощью индикаторных рецептур, помещённых в аэрозольные устройства [7-8].

Распыление индикаторной рецептуры осуществляется путём многократного нажатия на головку насоса-распылителя. При этом за счёт образующегося вакуума происходит распыление монодисперсного аэрозоля индикаторной рецептуры.

В основу разрабатываемого метода был положен способ, предложенный в патенте на изобретение [9]. Он позволяет проводить обнаружение загрязнённости поверхностей объектов как самим металлическим ураном, так и его соединениями.

Обнаружение нерастворимых соединений урана по предложенному способу осуществляется следующим образом:

- на анализируемую поверхность с помощью первого аэрозольного устройства путём двух-трёх нажатий на головку насоса-распылителя наносится 10-15% водный раствор азотной кислоты, служащий для перевода нерастворимых соединений урана в растворимую форму;

- через 1-2 минуты на анализируемую поверхность, обработанную раствором азотной кислоты, с помощью второго аэрозольного устройства аналогичным образом производят распыление индикаторной рецептуры, содержащей 15-20% водный раствор ацетата натрия и насыщенный водный раствор салицилата натрия в объёмном соотношении 1:1;

- практически сразу после нанесения индикаторной рецептуры на анализируемую поверхности наблюдают появление оранжево-красного окрашивания, которое свидетельствует о загрязнении поверхности соединениями урана;

На неокрашенных объектах обнаружение соединений урана проводят непосредственно на поверхности контролируемого объекта.

Для окрашенных объектов, когда индикационный эффект маскируется окраской поверхности, обнаружение соединений урана проводят на фильтровальных дисках, которые приводят в соприкосновение с этой поверхностью и протирают их после нанесения на поверхность водного раствора азотной кислоты.

Затем на эти диски с помощью второго аэрозольного устройства наносят индикаторную рецептуру и наблюдают появляющийся индикационный эффект.

Преимущества данного способа перед другими заключаются в следующем:

- значительно большая определяемая площадь контроля при одном обнаружении (25-30 кв.см);
- практически мгновенное обнаружение соединений урана;
- отсутствие необходимости использования вспомогательного оборудования и дополнительных операций по подготовке реактивов и отборе проб;
- возможность обнаружения соединений урана на различных, в том числе труднодоступных поверхностях.

Предложенный способ обнаружения соединений урана обладает следующие основными характеристиками:

- длительность сохранения индикационного эффекта - не менее 30 минут;
- пороговая чувствительность обнаружения загрязнённости поверхности – не менее 0,05 мг/кв.см.;
- способ сохраняет работоспособность в интервале температур 0-50°C;

Способ может использоваться для обнаружения просыпей (проливов) отходов отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и урансодержащих соединений на различных объектах ядерного энергетического цикла (получение ядерного топлива, транспортировка и утилизация ОЯТ), а также в организациях, работающих с соединениями урана на уровне существующих требований [10].

Данный способ прост в использовании, так как для его выполнения могут быть использованы широко распространенные материалы и химические реактивы, а малое время обнаружения позволит своевременно принять необходимые меры защиты и проконтролировать степень безопасности объекта. Недостатком данного способа является то, что он служит только для обнаружения соединений урана на поверхностях различных объектов.

Материалы и результаты исследования. В основу предлагаемого нами метода экспресс-обнаружения соединений урана в пробах воды было также поло-

жено распыление индикаторной рецептуры на основе водного раствора ацетата натрия и салицилата натрия с помощью аэрозольного устройства непосредственно в отобранную в пробоотборник пробу воды с последующим наблюдением индикационного эффекта. Для этого использовалось аэрозольное устройство АУ-9/2.

Результаты:

1. Определение чувствительности метода обнаружения загрязнённости воды соединениями урана с помощью аэрозольного устройства АУ-9/2.

На рисунке 1 изображено Аэрозольное устройство для обнаружения соединений урана АУ-9/2 (вид спереди и сзади) и характер индикационного эффекта от соединения урана (вид спереди, вид сверху).

Для каждого раствора было распылено одинаковое количество аэрозоля индикаторной рецептуры из аэрозольного устройства АУ-9/2 (3 нажатия).

1. 0,1% раствор – хорошо наблюдаемый индикационный эффект, окраска красно-оранжевая;
2. 0,01% раствора – окраска чуть заметна;
3. 0,005% раствора – окраска на уровне холостой.

Сравнительный анализ:

Так как в растворе 0,01% эффект чуть заметен, был приготовлен раствор с концентрацией 0,05 масс. %.

В полученный раствор соли урана мы распыляем точно такое же количество аэрозоля из аэрозольного устройства АУ-9/2 (3 нажатия), как и в предыдущую серию концентраций. На рисунке 2 мы можем наблюдать, что в присутствии соли уксуснокислого урана в концентрации 0,05% наблюдается желто-оранжевая окраска.

Для наглядности на рисунке предоставлена холостая проба и раствор с минимально определяемой концентрацией соединения урана 0,05%, при которой наблюдается визуально заметный индикационный эффект, так же концентрация раствора 0,1% для сравнения.

Наш исходный раствор 1% уксуснокислого урана при взаимодействии с индикаторной рецептурой аэрозольного устройства АУ-9/2 - имеет красно-коричневую окраску.

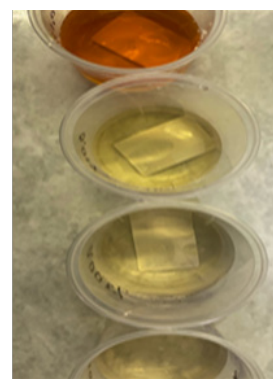
На рисунке 3 мы можем наблюдать как отличается индикационный эффект пробы с соединениями урана от холостой пробы.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Аэрозольное устройство для обнаружения соединений урана АУ-9/2 и характер индикационного эффекта: а) АУ-9/2 (вид спереди) б; в) индикационный эффект от различных концентраций водного раствора уксуснокислого урана)

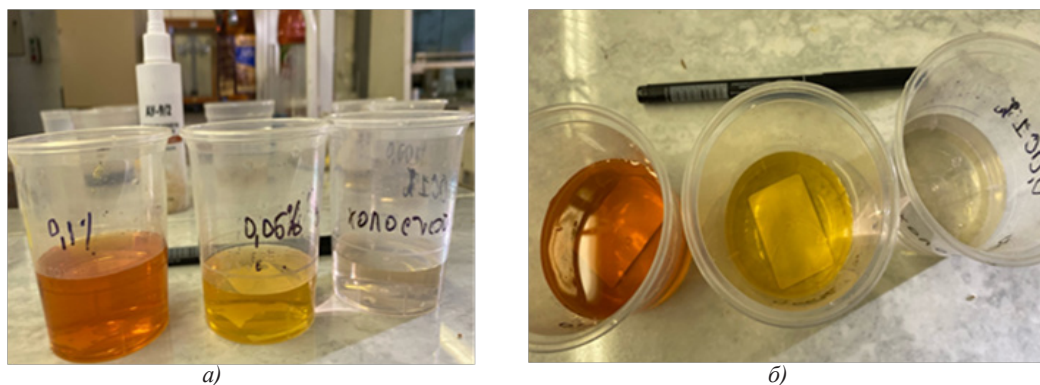


Рисунок 2 – Индикационный эффект от растворов уксуснокислого урана: а) вид спереди; б) вид сверху

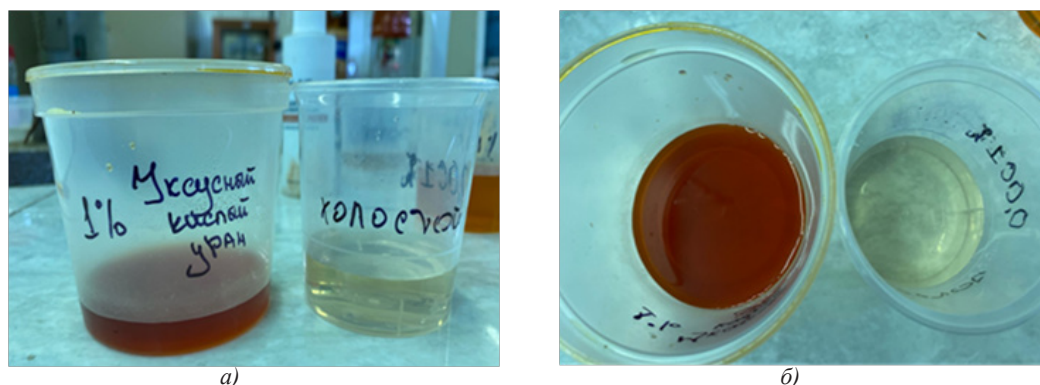


Рисунок 3 -Индикационный эффект от раствора уксуснокислого урана и холостая проба, а) вид спереди; б) вид сверху.

Как следует из рисунков 1-3, использование аэрозольного устройства АУ-9/2 позволяет непосредственно практически мгновенно определить наличие в воде водного раствора уксуснокислого урана с концентрацией масс. 0,05% и более. При этом наблюдается характерная красно-оранжевая окраска в соответствии с эталоном окраски, нанесенным на аэрозольное устройство АУ-9/2.

Так же с помощью данного метода можно обнаружить как растворимые соли урана (нитраты, ацетаты и другие) так и плохо растворимые соединения урана путем перевода их в растворимый нитрат урана. Для этого пробу предварительно необходимо обработать аэрозольным устройством АУ-9/1 с 10% раствором азотной кислоты.

Заключение. Предложен новый метод экспресс-обнаружения загрязнения воды соединениями урана в аэрозольном устройстве, который может быть использован на объектах ядерного энергетического цикла. Помимо этого, предлагаемый метод позволяет обнаружить соединения урана за время не более 2-3 минут не только в водных растворах, но и на поверхностях, что позволит принять соответствующие меры защиты.

Показано, что использование аэрозольных устройств позволяет непосредственно практически мгновенно определить наличие в воде соединений урана в установленных концентрациях. При этом в пробах воды будет наблюдаться характерный индикационный эффект. Время сохранения индикационного эффекта

составляет не менее 30 минут.

Преимущество метода заключается в следующем:

- повышенная чувствительность обнаружения;
- удобство использования;
- возможность проведения обнаружения непосредственно в месте контроля без необходимости использования дополнительных комплектующих;
- длительное время сохранения индикационного эффекта;
- одной заправкой аэрозольного устройства может быть проведено не менее 100 обнаружений.

Данный метод может быть реализован при дальнейшей модернизации разработанной для МЧС России портативной химической экспресс-лаборатории модульного типа ПХЛ МТ, которая в 2018 году успешно прошла предварительные и государственные испытания [11-13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сухононченко, Д.С. Изменение естественного радиационного фона в пределах урбанизированных и промышленных комплексов [Текст] / Д.С. Сухононченко // Экологические системы и приборы. – 2008. № 2. – С. 22 – 25.
2. Химия актиноидов: в 3 томах [Текст]: Т. 1 / Пер. с англ.; Под ред. Дж. Каца, Г. Сибборга, Л. Морсса.- М.: Мир, 1991.- С. 525.
3. Ядерная энциклопедия [Текст]. – М.: Изд-во «Благодарительный фонд Ярошинской», 1996.- 656 с.
4. В.И. Гуменюк, А.В. Куликович, Хемилюминесцентный экспресс-контроль соединений урана в природных водах, Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование, № 4, 2011, стр. 178-186
5. А.О. Аллен Радиационная химия воды и водных растворов [Текст] /А.О. Аллен / Пер с англ, под ред. П.И. Долина.

– М.: Атомиздат, 1963. – С. 203.

6. А.П. Виноградов, Аналитическая химия урана [Текст] / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 433.

7. V.V. Tatarinov, V. A. Pashinin, M.A. Kovalenko Rapid detection of contamination of objects and water surfaces by aggressive chemicals and uranium compounds Sino-Russian ASRTU Forum Ecology and environmental sciences, Section 4, 20–23 October 2020, Ekaterinburg, Russia

8. V.V. Tatarinov, V.A. Pashinin, P.N. Kosyrev "The method of group express detection of aggressive chemical substances in water." AIP Conference Proceedings. Vol. 2318. No. 1. AIP Publishing LLC, 2021.

9. Способ экспресс-обнаружения Урана и его соединений [Патент на изобретение № 2367945 МПК G01N 31/22. Дата подачи 06.03.2008. Опубликовано 20.09.2009]. – URL: <https://patenton.ru/patent/RU2367945C1> (дата обращения: 17.02.2021).

10. СанПин 2.1.4.559-96 [Утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 24 октября 1996 г. № 26]. – URL: <http://water.mechanik.spb.ru/normativ/sanpin/sanpin2.1.4.559.96.pdf> (дата обращения: 25.01.2021).

11. В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, И.А. Пушкин, Н.Н. Посохов «Совершенствование комплекта аэрозольных устройств для экспресс-обнаружения соединений урана и аварийно-химически опасных веществ на поверхностях различных объектов», Технологии гражданской безопасности, Т.12, 2015, № 1 (43), Стр. 36-40, Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).

12. В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, И.А. Пушкин, Н.Н. Посохов, Н.П. Валуев «Перспективные методы и средства экспресс-контроля степени зараженности поверхностей: технологии и пути развития», Технологии гражданской безопасности, Т.13, 2016, № 4 (50), Стр. 60-53, Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).

13. В.А. Пашинин, П.Н. Косырев, Н.Н. Посохов «Портативная химическая экспресс-лаборатория модульного типа для индикации агрессивных химических веществ на поверхностях объектов», Технологии гражданской безопасности, Т.16, 2019, № 2 (69), Стр. 16-22, Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).

Статья поступила в редакцию 26.07.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021