

EDN: EZWSKO

УДК 577.323; 577.123.36

**Е. Ю. СУХИНИНА, А. И. СЕРДЮК**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СОЕДИНЕНИЯМИ УРАНА**

**Аннотация.** Показано, что при использовании боеприпасов с обедненным ураном-238 происходит химическое и радиоактивное заражение почвы, произрастающей на ней растительности и людей триоксидом урана с физическим периодом полураспада 4,5 млрд лет и периодом полувыведения из организма человека 15 дней. Это химически токсичное для человека вещество с ПДК в воздухе равным 0,075 мг/м<sup>3</sup>, которое при вдыхании может вызывать одышку, кашель, острые поражения артерий и нарушение функции почек. Так как уран-238 является альфа – испускателем, то он наиболее опасен при попадании внутрь организма человека. Более активно он поглощается вегетационной массой растений по сравнению с репродуктивными органами. При этом степень перехода U-238 в хозяйственно-ценную часть урожая колеблется от 7 до 20 %.

**Ключевые слова:** экологическая опасность, обедненный уран, триоксид урана, химическое отравление, радиоактивность, загрязнение растений и почвы.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

С 1980-х годов американские военные используют обедненный уран (Уран-238 с содержанием основного вещества более 99 %) в боеприпасах и в защитной броне танков. Сейчас бронебойные боеприпасы с обедненным ураном являются одним из основных боеприпасов для танковых и противотанковых пушек в армии стран НАТО. Во время войны против Югославии они активно применяли ракеты «Томагавк», в боевой части которых содержалось примерно три килограмма урана, который при взрыве превращался в облако мелких частиц, распространяющееся на несколько десятков метров от места взрыва. Во время «Бури в пустыне» потрачено на поражение наземных целей по меньшей мере, 750 тыс. боеприпасов, содержащих уран. По разным оценкам, такое количество сопоставимо с объемом в 270...300 тонн обедненного урана, закопанного в почве или сброшенного с воздуха в реки. Большим преимуществом урана для бронебойных боеприпасов является его свойство воспламеняться при ударе и пробивании брони. Следует уточнить, что все изотопы урана являются радиоактивными и будут отрицательно влиять на здоровье людей.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Уран-238, слабо радиоактивный, и остается таковым из-за длительного физического периода полураспада (4,468 миллиарда лет).

Биологический период полураспада (среднее время, необходимое человеческому организму, чтобы удалить половину его количества) для урана-238 составляет около 15 дней [1, 2]. В технологии применения урана используются три оксида урана  $UO_2$ ,  $U_3O_8$  и  $UO_3$  [3, 4]. Диоксид урана –  $UO_2$  с ПДК равной 0,015 мг/м<sup>3</sup>. Темно-коричневые кристаллы. Триоксид урана –  $UO_3$  с ПДК равной 0,075 мг/м<sup>3</sup>, то есть он менее токсичен, чем  $UO_2$ . Кристаллическое или аморфное вещество ярко желтого цвета. Реагирует с водой. При взрыве боеприпасов происходит окисление урана с образованием  $U_3O_8$ , который на воздухе доокисляется с образованием триоксида урана –  $UO_3$  [3, 4].



**Целью работы** является установление экологической опасности обедненного урана-238 для здоровья человека и при продвижении по пищевой цепи как химически токсичного, так и радиоактивного вещества, одновременно.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Рассмотрим экологические характеристики триоксида урана-238, который образуется после взрыва и превращается в облако мелких частиц, висящих в воздухе в течение двух часов и распространяющихся на несколько десятков метров от места взрыва.

Рассчитано, что концентрация  $UO_3$ , равная его ПДК в атмосфере, будет достигнута в приземном слое воздуха (высота до 2 м) при взрыве боеприпаса массой 3 кг (масса  $UO_3$  будет составлять 3,6 кг) на площади равной 24 000 000 м<sup>2</sup>, то есть 2 300 гектар. Показано, что для 300 кг сброшенного обедненного урана площадь заражения будет составлять 2,3·10<sup>6</sup> га, то есть 24 км<sup>2</sup>. В первый момент времени после взрыва в атмосфере наряду с  $UO_3$  будет присутствовать и  $UO_2$ , который в 5 раз более токсичен. Поэтому площадь заражения будет увеличена на 1/3, и составлять 32 км<sup>2</sup>.

Как и все соединения шестивалентного урана,  $UO_3$  опасен при вдыхании, проглатывании и при контакте с кожей. Это ядовитое, токсичное вещество, которое при вдыхании может вызывать одышку, кашель, острые поражения артерий и изменения хромосом лейкоцитов и гонад, приводящие к врожденным порокам развития.

Длительное поступление урана в организм человека, когда сказывается его радиобиологическое воздействие как альфа-излучателя, ведет к развитию хронической лучевой болезни. Физиологическое воздействие альфа-лучей на организм человека в 20 раз более сильное, чем бета и гамма [3]. Механизмы действия урана на организм человека разнообразны. Уран может вызвать не только функциональные, но и органические изменения как в результате непосредственного действия на организм, так и опосредованно через центральную нервную систему и железы внутренней секреции. При урановом отравлении наряду с обширной патологией различных внутренних органов и систем ведущим является нарушение функции почек.

Период развертывания основных симптомов – обычно 5–7 суток. Исход интоксикации – 15–30 суток. Отдаленные последствия поражений – от нескольких месяцев до нескольких лет. Скрытый период характеризуется вялостью, снижением аппетита. В период развертывания основных симптомов с 3–4 суток, появляется жажда, на 5–7-е сутки, рвота, гастрит, энтерит. При ингаляционном поступлении урана – хрипы в легких, начальные явления пневмонии. В последующие сутки развиваются симптомы поражения почек. Наиболее тяжелые изменения отмечаются на 8–10-е сутки, часть животных погибает. На 10–13-е сутки наблюдается мышечная слабость, у некоторых животных паралич мышц и конечностей [3].

Коэффициент накопления урана сельскохозяйственными растениями зависит от типа почвы, формы удобрений, вида растений и составляет примерно 0,0001...0,1 [1]. Вынос обедненного урана - 238 из почвы в надземную часть растений в условиях вегетационного опыта крайне незначительный и составляет менее 0,06 % от его количества в почве. Концентрация U-238 в хозяйственно-ценной части урожая была наибольшей в первый год вегетационных опытов, в последующие годы интенсивность поглощения U-238 растениями сокращается. Накопление растениями идет пропорционально увеличению концентрации этого элемента в почве. Более активно он поглощается вегетационной массой по сравнению с репродуктивными органами. При этом степень перехода U-238 в хозяйственно-ценную часть урожая колеблется от 7 до 20 % [4, 5].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, при применении обедненного урана в составе используемого вооружения будет наблюдаться его химическая и радиационная опасности для человека и выращиваемых сельскохозяйственных культур в течение длительного времени вследствие большого периода его полураспада. Степень перехода U-238 в хозяйственно-ценную часть урожая колеблется от 7 до 20 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Keith, Larry S. Handbook on the Toxicology of Metals / Larry S. Keith, Obaid M. Faroon ; Fourth Edition. – Chapter 59 – Uranium. – Volume 2. – 2015. – 1544 p. – Текст : непосредственный.
2. Alexander, C. A. Volatilization of uranium under strongly oxidizing conditions / C. A. Alexander. – Текст : непосредственный // Journal of Nuclear Materials. – 2005. – Volume 346 (2-3). – P. 312–318. – DOI:10.1016/j.jnucmat.2005.07.013.

3. Гудков, С. В. Химическая и радиационная токсичность соединений урана / С. В. Гудков, А. В. Черников, В. И. Бруско // Российский химический журнал. – 2014. – Том 58, № 3-4. – С. 103–110. – Текст : непосредственный. – EDN: UGSPBT.
4. Тураев, Н. С. Химия и технология урана : учебное пособие для вузов / Н. С. Тураев, И. И. Жерин. – Москва : ЦНИИАТОМИНФОРМ, 2005. – 407 с. – ISBN 5-7262-0526-S. – Текст : непосредственный.
5. Савинкина, Е. В. Общая и неорганическая химия : в 2 т. / Е. В. Савинкина, В. А. Михайлов, Ю. М. Киселёв ; под редакцией академика РАН А. Ю. Цивадзе. – 2-е изд., электрон. – Москва : Лаборатория знаний, 2022. – 495 с. – (Учебник для высшей школы). – Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10. – Загл. с титул. экрана. – Текст : электронный. – ISBN 978-5-93208-576-9 (Т. 1) ISBN 978-5-93208-575 (Т. 2) (дата обращения: 12.04.2023).

Получена 03.05.2023

Принята 23.05.2023

О. Ю. СУХІНІНА, О. І. СЕРДЮК  
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ ПРИ ЗАБРУДНЕННІ  
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА СПОЛУКАМИ УРАНУ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація

**Аноація.** Показано, що при використанні боеприпасів зі збідненим ураном-238 відбувається хімічне і радіоактивне зараження ґрунту, рослинності, що росте на ньому, і людей триоксидом урану з фізичним періодом напіврозпаду 4,5 млрд років і періодом напіввиведення з організму людини 15 днів. Це хімічно токсична для людини речовина з ГДК в повітрі рівним 0,075 мг/м<sup>3</sup>, яке при вдиханні може викликати задишку, кашель, гострі ураження артерій і порушення функції нирок. Так як уран-238 є альфа-випромінювачем, то він найбільш небезпечний при попаданні всередину організму людини. Більш активно він поглинається вегетаційною масою рослин в порівнянні з репродуктивними органами. При цьому ступінь переходу U-238 в господарсько-цінну частину врожаю коливається від 7 до 20 %.

**Ключові слова:** екологічна безпека, збіднений уран, триоксид урану, хімічне отруєння, радіоактивність, забруднення рослин та ґрунту.

ELENA SUHININA, ALEKSANDR SERDYUK  
HUMAN ENVIRONMENTAL SAFETY IN CASE OF ENVIRONMENTAL  
POLLUTION BY URANIUM COMPOUNDS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,  
Makeyevka, DPR, Russian Federation

**Abstract.** It is shown that when using depleted uranium-238 ammunition, chemical and radioactive contamination of the soil, vegetation growing on it and people occurs with uranium trioxide with a physical half-life of 4.5 billion years and a half-life of 15 days from the human body. This is a chemically toxic substance for humans with a MAC in the air equal to 0.075 mg/m<sup>3</sup>, which, when inhaled, can cause shortness of breath, cough, acute arterial lesions and impaired kidney function. Since uranium-238 is an alpha emitter, it is most dangerous when ingested into the human body. It is more actively absorbed by the vegetative mass of plants in comparison with the reproductive organs. At the same time, the degree of transition of U-238 to the economically valuable part of the crop ranges from 7 to 20 %.

**Keywords:** environmental hazard, depleted uranium, uranium trioxide, chemical poisoning, radioactivity, pollution of plants and soil.

**Сухина Елена Юрьевна** – студентка ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: повышение экологической безопасности человека и окружающей среды.

**Сердюк Александр Иванович** – доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка, ДНР, Российская Федерация. Научные интересы: переработка промышленных отходов, повышение экологической безопасности человека и окружающей среды.

**Сухиніна Олена Юрїївна** – студентка ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: підвищення екологічної безпеки людини та навколишнього середовища.

**Сердюк Олександр Іванович** – доктор хімічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», м. Макіївка, ДНР, Російська Федерація. Наукові інтереси: переробка промислових відходів, підвищення екологічної безпеки людини та навколишнього середовища.

**Suhinina Elena** – student, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: improving the environmental safety of humans and the environment.

**Serdyuk Aleksandr** – D. Sc. (Chemical Sciences), Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Makeyevka, DPR, Russian Federation. Scientific interests: processing of industrial waste, improving the environmental safety of humans and the environment.