

## Влияние учета химической токсичности $^{238}\text{U}$ на величину его предельно допустимого выброса в атмосферный воздух

А.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина, А.А. Бурякова

Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

*В настоящее время установление нормативов предельно допустимых выбросов  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух проводится исключительно на основе критерия радиационного воздействия на население. При этом по своему токсическому действию уран относится к 1-му классу опасности (чрезвычайно опасные химические вещества). Проведено сравнение ограничения выброса  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух с учетом только радиационного воздействия, с использованием действующих методик расчета предельно допустимых выбросов и с учетом химической токсичности урана. Показано, что предельно допустимый выброс  $^{238}\text{U}$ , рассчитанный по критерию соблюдения годовой дозовой квоты облучения населения, в 100–250 раз выше максимального выброса, оцененного по критерию химической токсичности урана. Установленный в НРБ-99/2009 предел годового поступления  $^{238}\text{U}$  с пищей для населения 8400 Бк/год при условии равномерного поступления соответствует 184 мкг/кг массы тела в сутки для указанной возрастной группы, что превышает оцененный ВОЗ уровень допустимого суточного поступления урана по токсичности в 306 раз. Соблюдение санитарных правил в области радиационной безопасности населения при нормировании выбросов  $^{238}\text{U}$  не гарантирует того, что поступление урана в организм человека не превысит безопасных по токсичности уровней, оцененных ВОЗ. Необходимо провести актуализацию установленного значения предела годового поступления  $^{238}\text{U}$  для населения с учетом современных публикаций ВОЗ и результатов исследований в области токсичности урана и включить откорректированное значение в систему нормирования предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух.*

**Ключевые слова:** уран, нормирование, население, атмосферный воздух, предельно допустимый выброс, доза, токсичность.

### Введение

Радиоактивный изотоп  $^{238}\text{U}$  входит в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды<sup>1</sup>. В настоящее время предельно допустимый выброс в атмосферный воздух (ПДВ)  $^{238}\text{U}$  как ра-

диоактивного вещества устанавливается таким образом, чтобы годовая эффективная доза облучения критической группы населения от выбросов предприятия в условиях нормальной эксплуатации не превышала установленную дозовую квоту<sup>2</sup>. По своему токсическому действию уран относится к 1-му классу опасности – чрезвычайно опасные химические вещества<sup>3,4</sup>, при этом удельная активность  $^{238}\text{U}$

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (с изменениями и дополнениями)» [Order of the Government of the Russian Federation of 8.07.2015 No. 1316-r «On approval of the list of pollutants subject to state regulation measures in the field of environmental protection (with amendments and additions)» (In Russ.)]

<sup>2</sup> Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Утверждена приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639. [Methodology for development and establishment of radioactive substances maximum permissible atmospheric discharge limits approved by the order of the Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service No.639 of 07.11.2012. (In Russ.)]

<sup>3</sup> ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 11 с. [Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in the water of water objects used for drinking and domestic recreation purposes. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2008, 11 p. (In Russ.)]

<sup>4</sup> ГН 2.2.5.3532-18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2018. 176 с. [Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in air of the working area. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2018, 176 p. (In Russ.)]

**Крышев Александр Иванович**

Научно-производственное объединение «Тайфун»

**Адрес для переписки:** 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4; E-mail: ecomod@yandex.ru

мала, составляя всего 12,5 Бк/мг [1]. В связи с этим возникает вопрос о достаточности ограничения выбросов  $^{238}\text{U}$  исключительно по критерию его радиационного воздействия на население.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в результате изучения последствий военного применения обедненного урана дала оценку допустимого суточного поступления урана в организм человека [2–4]. Под допустимым суточным поступлением (синонимы – референтная концентрация, переносимое суточное поступление и др.) понимается «воздействие химического вещества в течение всей жизни, которое устанавливается с учетом всех имеющихся современных научных данных и, вероятно, не приводит к возникновению неприемлемого риска для здоровья чувствительных групп населения»<sup>5</sup>.

Допустимое суточное поступление урана в растворимой и частично растворимой форме ( $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ , карбонаты урана,  $\text{UO}_3$ ,  $\text{UF}_4$ ,  $\text{UCl}_4$ ) пероральным и ингаляционным путем по оценке ВОЗ 2001 г. составляло 0,5 мкг/кг массы тела в сутки, в нерастворимой форме ( $\text{UO}_2$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$ ) – 5 мкг/кг массы тела в сутки [2]. В 2004 г. допустимое суточное поступление пероральным путем урана в растворимой форме было пересмотрено ВОЗ, составив 0,6 мкг/кг массы тела в сутки [3]. Это значение было принято Европейским агентством по безопасности продуктов питания [5], Министерством здравоохранения и медицинских исследований Австралии [6], Министерством здравоохранения Канады [7]. Агентством по регистрации токсичных веществ и заболеваний США допустимое суточное поступление урана было оценено равным 0,2 мкг/кг массы тела в сутки [8], Агентством по безопасности продуктов питания Великобритании – 0,5 мкг/кг массы тела в сутки [9].

В России действуют гигиенические нормативы, накладывающие ограничения на концентрацию урана в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Предельно допустимая концентрация (ПДК) урана в воде установлена на уровне 15 мкг/л<sup>3</sup>. Проблема учета этого фактора при определе-

нии допустимых сбросов  $^{238}\text{U}$  была рассмотрена нами ранее [10]. Отметим, что потребление взрослым человеком питьевой воды, содержащей  $^{238}\text{U}$  на уровне, соответствующем ПДК в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, приведет к суточному поступлению урана 30 мкг/сут, или 0,43 мкг/кг тела в сутки.

До 1999 г. санитарные правила накладывали ограничение на величину предела годового поступления  $^{238}\text{U}$  для населения, исходя из его химической токсичности. Допустимый предел годового поступления  $^{238}\text{U}$  (ПГП) для населения составлял 50 мг/год или 600 Бк/год<sup>6</sup>. В действующих санитарных правилах химическая токсичность урана учитывается только при ограничении годового поступления  $^{238}\text{U}$  ингаляционным путем для персонала на уровне 2,5 мг/сут и 500 мг/год<sup>7</sup>. Величина допустимого суточного поступления урана для населения санитарными правилами не установлена. Таким образом, в настоящее время при расчете нормативов предельно допустимых выбросов  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух токсическое действие урана не учитывается.

**Цель исследования** – сравнение ограничения выброса  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух с учетом только радиационного воздействия с использованием действующих методик расчета ПДВ<sup>8,9</sup> и с учетом химической токсичности урана.

### Задачи исследования

Задачей исследования является оценка того, насколько ограничение на поступление  $^{238}\text{U}$  в организм человека, обусловленное токсичностью этого элемента, может повлиять на расчетную величину ПДВ  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух.

### Материалы и методы

Расчет годовой дозы облучения населения от выбросов  $^{238}\text{U}$  проводится с учетом следующих путей: внутреннее облучение от потребления загрязненных продуктов

<sup>5</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с. [R 2.1.10.1920-04. Guidelines for health risk assessment of exposure to chemical substances polluting the environment. Moscow: Federal Center of Gossanepidnadzor of the Ministry of Health of Russia, 2004, 143 p. (In Russ.)]

<sup>6</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). Гигиенические нормативы (ГН 2.6.1.054-96). М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. 127 с. [Radiation Safety Standards (NRB-96). Hygienic Standards (GN 2.6.1.054-96). Moscow, Information and Publishing Center of Goskomsanepidnadzor of Russia, 1996, 127 p. (In Russ.)]

<sup>7</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с. [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009): Sanitary Rules and Standards (SanPiN 2.6.1.2523-09). Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russ.)]

<sup>8</sup> Методические рекомендации по расчету нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ из организованных источников в атмосферный воздух применительно для организаций Госкорпорации «Росатом». Утверждены 15.07.2014 г. № 1-1/310-Р. М., Росатом, 2014. [Methodological guidelines for calculating the maximum permissible emissions of radioactive substances from organized sources into the atmosphere for organizations of the State Atomic Energy Corporation «Rosatom». Approved by the State Atomic Energy Corporation «Rosatom» No 1-1/310-P of 15.07.2014. (In Russ.)]

<sup>9</sup> РБ-106-15. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуются методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. М., Ростехнадзор, 2015. [RB-106-15. Safety guide on nuclear energy use. Recommended methods of parameters calculation which are necessary to prepare and establish permissible limits of radioactive substances discharges into atmosphere. Moscow, Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service (Rostekhnadzor), 2015. (In Russ.)]

питания и вдыхания радионуклида, внешнее облучение от облака и почвы<sup>8</sup>.

Доза внешнего облучения от облака, Зв/год, рассчитывается по формуле:

$$D_{cloud} = Q \cdot G \cdot R_{cloud} \cdot K_{cloud}, \quad (1)$$

где  $Q$  – годовой выброс радионуклида через вентиляционную трубу предприятия, Бк/год;  $G$  – среднегодовой фактор метеорологического разбавления, с/м<sup>3</sup>;  $R_{cloud} = 2,5 \cdot 10^{-18}$  Зв·м<sup>3</sup>/(Бк·с) – дозовый коэффициент <sup>238</sup>U при внешнем облучении от облака<sup>10</sup>;  $K_{cloud}$  – коэффициент, учитывающий эффект экранирования зданиями  $\gamma$ -излучения от радиоактивного облака и неполного пребывания человека на открытой местности. Для человека, проживающего в каменном доме, по методике<sup>8</sup>  $K_{cloud} = 0,72$ .

Доза внешнего облучения от почвы, Зв/год, рассчитывается по формуле:

$$D_{ext} = Q \cdot (S_d + S_w) \cdot \frac{R_{ext}}{\lambda_{eff}} \cdot K_{ext}, \quad (2)$$

где  $S_d$  и  $S_w$  – среднегодовой фактор сухого осаждения и влажного выведения радионуклида на подстилающую поверхность, соответственно, м<sup>-2</sup>;  $R_{ext} = 4,23 \cdot 10^{-19}$  Зв·м<sup>2</sup>/(Бк·с) – дозовый коэффициент <sup>238</sup>U при внешнем облучении от почвы<sup>10</sup>;  $K_{ext}$  – коэффициент, учитывающий эффект экранирования зданиями  $\gamma$ -излучения от радиоактивных выпадений на почву и неполного пребывания человека на открытой местности. Для человека, проживающего в каменном доме, по методике<sup>8</sup>  $K_{ext} = 0,44$ .

Доза облучения от вдыхания радионуклида, Зв/год, для  $j$ -й возрастной группы населения рассчитывается по формуле:

$$D_{inh,j} = Q \cdot G \cdot R_{inh,j} \cdot U_j, \quad (3)$$

где  $R_{inh,j}$  – дозовый коэффициент при вдыхании <sup>238</sup>U, Зв/Бк;  $U_j$  – среднегодовая интенсивность дыхания, м<sup>3</sup>/с; значения этих характеристик для каждой возрастной группы указаны в методике МУ 2.6.5.010-2016<sup>10</sup>;

Доза облучения от потребления загрязненных продуктов питания для  $j$ -й возрастной группы населения, Зв/год, рассчитывается по формуле:

$$D_{ing,j} = Q \cdot R_{ing,j} \cdot \sum_k F_{k,j} \cdot (K_{S_{1,k}} \cdot (S_d + 0,2 \cdot S_w) + K_{S_{2,k}} \cdot (S_d + S_w)), \quad (4)$$

где  $R_{ing,j}$  – дозовый коэффициент при пероральном поступлении <sup>238</sup>U, Зв/Бк;  $F_{k,j}$  – годовое потребление  $k$ -го продукта питания, кг;  $K_{S_{1,k}}$  и  $K_{S_{2,k}}$  – коэффициенты перехода <sup>238</sup>U в  $k$ -й продукт питания при непрерывных выпадениях

в течение года для воздушного и корневого путей загрязнения соответственно, м<sup>2</sup>/кг. Для перехода <sup>238</sup>U в продукты питания методика расчета ПДВ<sup>8</sup> рекомендует следующие значения  $K_{S_{1,k}}$ , м<sup>2</sup>/кг: молоко  $1,7 \cdot 10^{-3}$ , мясо  $4,5 \cdot 10^{-4}$ , хлеб  $4,1 \cdot 10^{-2}$ , картофель  $1,2 \cdot 10^{-3}$ , овощи  $7,12 \cdot 10^{-3}$ , фрукты  $5 \cdot 10^{-3}$ ; рекомендованные значения  $K_{S_{2,k}}$ , м<sup>2</sup>/кг: молоко  $2 \cdot 10^{-6}$ , мясо  $5,3 \cdot 10^{-7}$ , хлеб  $7,5 \cdot 10^{-4}$ , картофель  $2,1 \cdot 10^{-4}$ , овощи  $2,75 \cdot 10^{-4}$ , фрукты  $2,3 \cdot 10^{-4}$ .

Предельно допустимый выброс <sup>238</sup>U в атмосферный воздух (Бк/год) с учетом только радиационного фактора воздействия  $ПДВ = \min_j(ПДВ_j)$ , где

$$ПДВ_j = D_q \cdot \left( G \cdot R_{cloud} \cdot K_{cloud} + (S_d + S_w) \cdot \frac{R_{ext}}{\lambda_{eff}} \cdot K_{ext} + G \cdot R_{inh,j} \cdot U_j + R_{ing,j} \cdot \sum_k F_{k,j} \cdot (K_{S_{1,k}} \cdot (S_d + 0,2 \cdot S_w) + K_{S_{2,k}} \cdot (S_d + S_w)) \right), \quad (5)$$

$D_q$  – годовая дозовая квота облучения населения от выбросов предприятия. В общем случае  $D_q = 10^{-3}$  Зв/год<sup>7</sup>.

Если при ограничении выброса <sup>238</sup>U в атмосферный воздух учитывать его химическую токсичность, то, предполагая равномерное поступление радионуклида в окружающую среду в течение года, максимальный выброс (МВ, Бк/год), можно рассчитать по формуле  $МВ = \min_j(МВ_j)$ , где:

$$МВ_j = P_j \cdot \left( G \cdot U_j + \sum_k F_{k,j} \cdot (K_{S_{1,k}} \cdot (S_d + 0,2 \cdot S_w) + K_{S_{2,k}} \cdot (S_d + S_w)) \right)^{-1}, \quad (6)$$

$P_j = p \cdot K_p \cdot M_j \cdot T$ ;  $p$  – допустимое суточное поступление <sup>238</sup>U в организм человека, мкг·(кг·сут)<sup>-1</sup>;  $K_p$  – количество Бк в мкг <sup>238</sup>U;  $T = 365$  сут/год;  $M_j$  – масса тела человека из  $j$ -й возрастной группы, принятая равной для детей 1–2 лет 10 кг, 2–7 лет – 16 кг, 7–12 лет – 28 кг, 12–17 лет – 52 кг, взрослых – 70 кг [11].

## Результаты и обсуждение

Для сравнения расчетных значений ПДВ и МВ предположим, что постоянный и равномерный в течение года выброс <sup>238</sup>U осуществляется из вентиляционной трубы высотой 50 м, проживание населения возможно на расстоянии не менее 500 м от источника выброса. Для примера используем характерные значения метеорологических характеристик для Московской области. Тогда по методике<sup>8</sup> характерное расчетное значение среднегодового фактора метеорологического разбавления на расстоянии 500 м от источника выброса составит  $G = 10^{-6}$  с/м<sup>3</sup>; среднегодового фактора сухого осаждения  $S_d = 8 \cdot 10^{-9}$  м<sup>-2</sup> и влажного выведения  $S_w = 2 \cdot 10^{-10}$  м<sup>-2</sup>. Годовое потребление продуктов

<sup>10</sup> МУ 2.6.5.010-2016. Обоснование границ и условия эксплуатации санитарно-защитных зон и зон наблюдения радиационных объектов. М., ФМБА России, 2016. [МУ 2.6.5.010-2016. Justification of borders and operating conditions of sanitary protection zones and radiation monitoring zones. Moscow, Federal Medical-Biological Agency of Russia (FMBA), 2016. (In Russ.)]

<sup>11</sup> НТД 38.220.56-84 Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения. МХО Интератомэнерго, М., Энергоатомиздат, 1984. [NTD 38.220.56-84 «Methods for calculation of NPP-generated radioactive substances dispersion and exposure of local population». MHO Interatomenerg, Moscow, Energoatomizdat, 1984. (In Russ.)]

питания взрослым человеком зададим равным средним значениям за 2015–2019 гг. для жителей Московской области, кг [12]: молоко – 242, мясо – 103, хлеб – 122, картофель – 89, овощи – 104, фрукты – 65. Годовое потребление для других возрастных групп рассчитано с использованием долей потребления отдельных продуктов питания детьми относительно взрослых из методики НТД 38.220.56-84<sup>11</sup>. Поступление <sup>238</sup>U в организм человека при заданных условиях более чем на 99% обусловлено потреблением продуктов питания.

Значения  $P_j$  определены, исходя из оцененного ВОЗ допустимого суточного поступления урана в растворимой форме – 0,6 мкг/кг массы тела в сутки [3]. Соответствующее годовое поступление <sup>238</sup>U при условии постоянного и равномерного выброса <sup>238</sup>U в течение года составляет для детей 1–2 лет – 27 Бк/год, 2–7 лет – 44 Бк/год, 7–12 лет – 77 Бк/год, 12–17 лет – 142 Бк/год, для взрослых – 191 Бк/год. Для сравнения – если взрослый человек потребляет питьевую воду, в которой <sup>238</sup>U содержится на уровне ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования<sup>3</sup>, то это приведет к поступлению данного радионуклида в количестве 137 Бк/год, что несколько ниже значения, полученного с использованием оценки ВОЗ.

Для рассмотренного примера в таблице 1 представлены расчетные величины ПДВ <sup>238</sup>U в атмосферный воздух по радиационному фактору и МВ <sup>238</sup>U, оцененного с учетом его химической токсичности.

Таблица 1

**Предельно допустимый выброс <sup>238</sup>U по радиационному фактору и максимальный выброс, оцененный с учетом химической токсичности урана, Бк/год**

[Table 1

**Permissible atmospheric release of <sup>238</sup>U by radiation factor and its maximum atmospheric release, estimated with accounting the uranium chemical toxicity, Bq/year]**

Возраст, лет [Age, years]	ПДВ (по радиационному фактору) [Permissible atmospheric release (by the radiation factor)]	МВ (по химической токсичности) [Maximum release (by chemical toxicity)]
1–2	6,8·10 <sup>11</sup>	3,7·10 <sup>9</sup>
2–7	3,7·10 <sup>11</sup>	1,5·10 <sup>9</sup>
7–12	2,7·10 <sup>11</sup>	1,5·10 <sup>9</sup>
12–17	2,3·10 <sup>11</sup>	2,3·10 <sup>9</sup>
Взрослые (> 17) [Adult (> 17)]	3,8·10 <sup>11</sup>	3,5·10 <sup>9</sup>
Итоговое значение [Total value]	2,3·10 <sup>11</sup>	1,5·10 <sup>9</sup>

Как видно из таблицы 1, для всех возрастных групп предельно допустимый выброс <sup>238</sup>U, рассчитанный по радиационному фактору – критерию соблюдения годовой дозовой квоты облучения населения, значительно выше максимального выброса, определенного по критерию химической токсичности урана. Различие составляет от 100 до 250 раз, итоговое значение МВ <sup>238</sup>U с учетом его химической токсичности ниже ПДВ в 153 раза. Таким образом, выполнение санитарных правил в области радиационной

безопасности населения при нормировании выбросов <sup>238</sup>U не гарантирует автоматически, что поступление урана в организм человека не превысит по химической токсичности уровней, оцениваемых ВОЗ как безопасные, не приводящие к возникновению неприемлемого риска для здоровья.

В таблице 2 приведены значения предела годового поступления <sup>238</sup>U с пищей для разных возрастных групп, рассчитанные по радиационному фактору, по формуле  $ПГП_j = D_q / R_{ing,j}$ . Для сравнения показаны пересчитанные в Бк значения максимального годового поступления <sup>238</sup>U МГП<sub>р</sub>, соответствующие равномерному суточному поступлению в организм человека урана в растворимой форме в количестве 0,6 мкг/кг массы тела в сутки.

Таблица 2

**Предел годового поступления <sup>238</sup>U для населения с пищей по радиационному фактору и максимальное годовое поступление, оцененное с учетом химической токсичности урана, Бк/год**

[Table 2

**Annual intake limit of <sup>238</sup>U by food to population by radiation factor and its maximum annual intake, estimated with accounting the uranium chemical toxicity, Bq/year]**

Возраст, лет [Age, years]	ПГП (радиационный фактор) [Annual intake limit (by radiation factor)]	МГП (химическая токсичность) [Maximum annual intake (chemical toxicity)]
1–2	8,4·10 <sup>3</sup>	27
2–7	1,3·10 <sup>4</sup>	44
7–12	1,5·10 <sup>4</sup>	77
12–17	1,5·10 <sup>4</sup>	142
Взрослые (> 17) [Adult (> 17)]	2,2·10 <sup>4</sup>	191

Для всех возрастных групп населения значения МГП<sub>р</sub> <sup>238</sup>U, рассчитанные с учетом его химической токсичности, значительно ниже пределов годового поступления по радиационному фактору (в 100–300 раз). Предел годового поступления <sup>238</sup>U с пищей 8400 Бк/год для детей в возрасте 1–2 лет, указанный в приложении 2 НРБ-99/2009<sup>7</sup>, при условии равномерного поступления урана в организм человека в течение года соответствует суточному поступлению 23 Бк/сут. В пересчете это составляет 1840 мкг/сут, для ребенка в возрасте 1–2 лет 184 мкг/кг массы тела в сутки, что превышает оцененный ВОЗ уровень допустимого суточного поступления по химической токсичности в 306 раз. Это подтверждает необходимость анализа и пересмотра установленного значения предела годового поступления <sup>238</sup>U для населения с учетом современных публикаций ВОЗ и результатов исследований в области химической токсичности урана.

В настоящее время выбросы <sup>238</sup>U в атмосферный воздух предприятиями атомной отрасли нормируются только по радиационному фактору воздействия на население. Учет и контроль выбросов <sup>238</sup>U в атмосферный воздух производится в единицах активности (Бк/год) в соответствии с действующими разрешениями на выброс радиоактивных веществ. Решение проблемы учета химической токсичности <sup>238</sup>U путем установления для его выбросов

отдельных нормативов в мг/год, с включением их в решение на выброс химических веществ, по нашему мнению, не является оптимальным, поскольку в этом случае организации придется вести двойной учет и контроль одной и той же характеристики в разных единицах измерения. Более целесообразным подходом представляется научно обоснованная корректировка значений предела годового поступления  $^{238}\text{U}$  для населения с учетом его химической токсичности, после чего значения ПГП можно будет использовать при разработке и установлении нормативов ПДВ  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух.

### Заключение

Учет химической токсичности урана может оказать значительное влияние на величину ПДВ  $^{238}\text{U}$  в атмосферный воздух. Предельно допустимый выброс  $^{238}\text{U}$ , рассчитанный из условия соблюдения годовой дозовой квоты облучения населения, для разных возрастных групп в 100–250 раз выше максимального выброса, определенного по критерию химической токсичности урана. Выполнение санитарных правил в области радиационной безопасности населения при нормировании выбросов  $^{238}\text{U}$  не гарантирует автоматически, что поступление урана в организм человека не превысит по химической токсичности уровней, оцениваемых ВОЗ как безопасные, не приводящие к возникновению неприемлемого риска для здоровья. Необходима научно обоснованная корректировка действующих значений предела годового поступления  $^{238}\text{U}$  для населения с учетом современных публикаций ВОЗ и результатов исследований в области химической токсичности урана. Откорректированные значения ПГП  $^{238}\text{U}$  для населения могут быть включены в систему нормирования предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух.

### Литература

1. IAEA Safety Standards. Advisory material for the IAEA regulations for the safe transport of radioactive material.

- Specific Safety Guide No. SSG-26. IAEA, Vienna, 2014. 450 p.
- WHO – World Health Organization. Depleted uranium: sources, exposure and health effects. WHO, Geneva, 2001. 209 p.
  - WHO – World Health Organization. Uranium in drinking water. Background document for derivation of WHO guidelines for drinking-water quality. WHO, Geneva, 2004. 15 p.
  - Bleise A., Danesi P.R., Burkart W. Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview // Journal of Environmental Radioactivity. 2003. Vol. 64. P. 93–112. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00041-3).
  - EFSA – European Food Safety Authority. Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain // The EFSA Journal. 2009. Vol. 1018. P. 1–59.
  - NHMRC – National Health and Medical Research Council. Australia drinking water guidelines 6: 2011. Version 2.0, December 2013. NHMRC, Canberra, 2013.
  - Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Uranium. Guideline Technical Document. Health Canada, Ottawa, 2019. 87 p.
  - ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for uranium. ATSDR, US Department of Health and Human Services, Atlanta (GA), 2013. 526 p.
  - UKFSA – United Kingdom Food Safety Authority. Uranium-238 in the 2001 total diet study. Food survey information sheet 56/04. UKFSA, London, 2005.
  - Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Павлова Н.Н. Вопросы нормирования поступления  $^{238}\text{U}$  в поверхностные воды с учетом его радиационного и токсического действия // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 41–46. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-41-46>.
  - Rodd C., Metzger D.L., Sharma A. Extending World Health Organization weight-for-age reference curves to older children // BMC Pediatrics. 2014. Vol. 14, № 32. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-14-32>.
  - Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации – 2020 г. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278> (дата обращения: 02.11.2020 г.)

Поступила: 30.11.2020 г.

**Крышев Александр Иванович** – доктор биологических наук, заведующий лабораторией эколога-геофизического моделирования и анализа риска, «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета. Адрес для переписки: 249038, Калужская область, г. Обнинск, ул. Победы, 4; E-mail: [ecomod@yandex.ru](mailto:ecomod@yandex.ru)

**Сазыкина Татьяна Григорьевна** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории эколога-геофизического моделирования и анализа риска, «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

**Бурякова Анна Александровна** – младший научный сотрудник лаборатории эколога-геофизического моделирования и анализа риска, «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия

**Для цитирования:** Крышев А.И., Сазыкина Т.Г., Бурякова А.А. Влияние учета химической токсичности  $^{238}\text{U}$  на величину его предельно допустимого выброса в атмосферный воздух // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 2. С. 21–26. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-21-26

## Impact of accounting of $^{238}\text{U}$ chemical toxicity on its permissible release level to atmosphere

Alexander I. Kryshev, Tatiana G. Sazykina, Anna A. Buryakova

Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet, Obninsk, Russia

*At present, the permissible atmospheric release levels of  $^{238}\text{U}$  are evaluated only on a basis of its radiation impact on population. At the same time, uranium belongs to the 1<sup>st</sup> hazard class (extremely dangerous chemicals) by its toxic effect. Limitation of the  $^{238}\text{U}$  release to the atmosphere is calculated separately using two criteria – radiation protection (annual dose limits) and chemical toxicity of uranium. It is shown that the permissible release level of  $^{238}\text{U}$  by radiation criteria is 100 – 250 times higher than the maximum release level limited by chemical toxicity of uranium. Annual intake limit of  $^{238}\text{U}$  for population 8400 Bq/year, established by Radiation Safety Norms NRB-99/2009, under condition of its uniform intake is equal to 184 mkg/kg of body mass per day for the indicated age group. It is 306 times higher than the tolerable daily intake of uranium estimated by World Health Organization. Compliance with the public health regulations in radiation safety does not guarantee that the annual intake of uranium by population would not exceed the tolerable toxicity levels indicated by World Health Organization. Therefore, the established value of the annual intake limit of  $^{238}\text{U}$  for the population needs to be revised taking into account the recent World Health Organization publications and the research results in the field of chemical toxicity of uranium. The revised value could be incorporated to the system of establishing the permissible atmospheric releases levels of radioactive substances.*

**Key words:** uranium, norms, population, atmosphere, permissible release level, dose, chemical toxicity.

### References

1. IAEA Safety Standards. Advisory material for the IAEA regulations for the safe transport of radioactive material. Specific Safety Guide No. SSG-26. IAEA, Vienna, 2014. 450 p.
2. WHO – World Health Organization. Depleted uranium: sources, exposure and health effects. WHO, Geneva, 2001. 209 p.
3. WHO – World Health Organization. Uranium in drinking water. Background document for derivation of WHO guidelines for drinking-water quality. WHO, Geneva, 2004. 15 p.
4. Bleise A, Danesi PR, Burkart W. Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2003;64: 93–112. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00041-3).
5. EFSA – European Food Safety Authority. Uranium in foodstuffs, in particular mineral water. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *The EFSA Journal*. 2009;1018: 1–59.
6. NHMRC – National Health and Medical Research Council. Australia drinking water guidelines 6: 2011. Version 2.0, December 2013. NHMRC, Canberra, 2013.
7. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality. Uranium. Guideline Technical Document. Health Canada, Ottawa, 2019. 87 p.
8. ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for uranium. ATSDR, US Department of Health and Human Services, Atlanta (GA), 2013. 526 p.
9. UKFSA – United Kingdom Food Safety Authority. Uranium-238 in the 2001 total diet study. Food survey information sheet 56/04. UKFSA, London, 2005.
10. Kryshev AI, Sazykina TG, Pavlova NN. Issues of establishing the permissible discharge levels of  $^{238}\text{U}$  to surface waters taking into account its radiation and toxic effects. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(2): 41–46. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-41-46>. (In Russian).
11. Rodd C, Metzger DL, Sharma A. Extending World Health Organization weight-for-age reference curves to older children. *BMC Pediatrics*. 2014;14(32). <https://doi.org/10.1186/1471-2431-14-32>.
12. Consumption of basic food products by the population of the Russian Federation – 2020 r. Federal State Statistics Service of Russia (Rosstat). – Available on: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278> (Accessed: 02.11.2020 r.) (In Russian).

Received: November 30, 2020

**For correspondence: Alexander I. Kryshev** – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Ecological and geophysical modeling and risk analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet (Pobedy str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249038, Russia; E-mail: [ecomod@yandex.ru](mailto:ecomod@yandex.ru))

**Tatiana G. Sazykina** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Ecological and geophysical modeling and risk analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet, Obninsk, Russia

**Anna A. Buryakova** – Researcher of the Laboratory of Ecological and geophysical modeling and risk analysis of the Research and Production Association «Typhoon», Roshydromet, Obninsk, Russia

**For citation: Kryshev A.I., Sazykina T.G., Buryakova A.A. Impact of accounting of  $^{238}\text{U}$  chemical toxicity on its permissible release level to atmosphere. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 21-26. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-21-26**

**Alexander I. Kryshev**

Research and Production Association «Typhoon»

**Address for correspondence:** Pobedy str., 4, Obninsk, Kaluga region, 249038, Russia; E-mail: [ecomod@yandex.ru](mailto:ecomod@yandex.ru)