



УДК: 504.054; 504.3.054; 504.4.054; 539.16.04; 629.039.58

DOI: 10.26277/SECNRS.2025.115.1.002

© 2025. Все права защищены.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ НОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОЕМА КАК ИСТОЧНИКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

Курьиндин А. В.\* , канд. техн. наук (kuryndin@secnrs.ru),  
Понизов А. В.\* , канд. техн. наук (ponizov@secnrs.ru),  
Шаповалов А. С.\* (shapovalov@secnrs.ru),  
Тимофеев Н. Б.\* (ntimofeev@secnrs.ru),  
Екидин А. А.\*\* , канд. физ.-мат. наук (ekidin@mail.ru),  
Антонов К. Л.\*\* , канд. физ.-мат. наук (antonov@ecko.uran.ru)

Статья поступила в редакцию 7 февраля 2025 г.

### Аннотация

*Промышленные водоемы, предназначенные для обращения с жидкими радиоактивными отходами, являются площадными источниками поступления радионуклидов (в первую очередь, трития) в атмосферный воздух. Оценка выброса газообразных соединений трития (как критического радионуклида) в результате испарения и капельного уноса с поверхности таких водоемов представляется актуальной. На основе результатов этой оценки обосновывается и принимается решение о необходимости ограничения поступления радиоактивных веществ в атмосферный воздух с учетом установленных требований. Представленный в настоящей статье алгоритм скрининговой оценки выброса газообразных соединений трития с поверхности промышленных водоемов и последующей оценки годовой эффективной дозы облучения населения без учета рассеивания выброса в атмосфере позволяет эксплуатирующим организациям принять обоснованное решение о необходимости или отказе от нормирования выбросов радиоактивных веществ таких источников на основе результатов измерения удельной активности трития в воде промышленных водоемов, в которых тритий является критическим радионуклидом.*

► **Ключевые слова:** радиоактивные вещества, тритий, испарение, капельный унос, выброс, площадный источник выбросов, атмосферный воздух, годовая эффективная доза.

**Статья публикуется в порядке дискуссии.**

Редакция журнала будет признательна авторам статей с альтернативными мнениями по данному вопросу.

\* Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», Москва, Россия.

\*\* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук», Екатеринбург, Россия.

## PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE NEED FOR REGULATION OF INDUSTRIAL RESERVOIRS AS A SOURCE OF RADIATION EXPOSURE TO HUMANS

Kuryndin A. V.\*, Ph. D.,  
Ponizov A. V.\*, Ph. D.,  
Shapovalov A. S.\*,  
Timofeev N. B.\*,  
Ekidin A. A.\*\*, Ph. D.,  
Antonov K. L.\*\*, Ph. D.

The article was received by the editors' crew on February 7<sup>th</sup>, 2025.

### *Abstract*

*Industrial reservoirs intended for handling of liquid nuclear waste are areal sources of radionuclide emissions, primarily tritium, into the atmospheric air. The assessment of gaseous tritium compound emissions (as the most contributive radionuclide) due to evaporation and droplet entrainment from the surface of such reservoirs seems of particular relevance. The results of this assessment provide the basis for decision-making regarding the necessity of limiting the emissions of radioactive substances into the atmosphere in compliance with the established regulatory requirements. The algorithm for screening assessment of gaseous tritium compound emissions from the surface of industrial reservoirs, presented in this article, along with the subsequent evaluation of the annual effective dose to the population (without considering dispersion in the atmosphere), allows operating organizations to make a justified decision on the need or refusal to establish the limits for radioactive emissions from such sources based on the results of measured specific activity of tritium in the water of industrial reservoirs where tritium represents the most contributive radionuclide.*

► **Keywords:** *radioactive substances, tritium, evaporation, droplet entrainment, emission, areal source of emissions, atmospheric air, annual effective dose.*

### **The article is published for discussion purposes.**

The editors' crew of the journal would be grateful to the authors of articles with alternative opinions on this topic.

\* Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Moscow, Russia.

\*\* Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

## Введение

Промышленные водоемы искусственного и естественного происхождения, используемые для хранения жидких радиоактивных отходов (ЖРО), являются площадными источниками поступления радиоактивных веществ (РВ) в атмосферный воздух [1–4].

Обращение с ЖРО в процессе накопления и хранения в промышленных водоемах должно осуществляться в соответствии с нормативно правовыми документами в области использования атомной энергии с учетом современных требований обеспечения радиационной безопасности [5]. Меры регулирования поступления РВ с поверхности площадного источника определяются в зависимости от оценок радиационного воздействия на человека и компоненты окружающей среды при нормальной эксплуатации (НЭ).

В соответствии с [6–9] нормирование может потребоваться как по отношению к стационарным организованным, так и к неорганизованным источникам выбросов, примерами которых являются упомянутые выше промышленные водоемы. Критерием необходимости нормирования источника является превышение создаваемой его выбросами годовой эффективной дозой (рассчитываемой без учета рассеивания) минимально значимой дозы, равной 10 мкЗв/год.

В рамках применения данного критерия консервативно предполагается, что облучаемый индивид находится непосредственно в месте, где РВ высвобождаются из источника перед распространением в атмосферном воздухе. Примером подобного консервативного подхода является установленное в [10] требование, согласно которому регулярный контроль должен осуществляться в отношении источников, которые в отсутствие оборудования, предназначенного для очистки выбросов, формируют годовую эффективную дозу облучения населения, большую или равную 1 мкЗв/год. При этом установленный в [7] критерий выбора нормируемых источников, как показано в [11], позволяет обеспечить оптимальный баланс между простотой и прозрачностью принятия решения о нормировании выбросов конкретного источника и в то же время охватить различные типы источников, характеризующихся широким спектром разнообразных параметров (как технических, так и геометрических).

Нормативы выбросов устанавливаются для радионуклидов, включенных в «Перечень загрязняю-

щих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации [12], вклад которых в эффективную дозу по этому пути радиационного воздействия превышает 99 % [7]. На выбор указанного перечня в рамках решаемой задачи существенное влияние оказывает межфазное распределение радионуклидов между атмосферным воздухом и водой промышленного водоема:

$$k_{p,r} = \frac{a_{air,r}}{a_{w,r}}, \quad (1)$$

где  $k_{p,r}$  – коэффициент распределения радионуклида  $r$  между атмосферным воздухом и водой промышленного водоема;

$a_{air,r}$  и  $a_{w,r}$  – удельная активность радионуклида  $r$  в атмосферном воздухе и воде промышленного водоема, соответственно, Бк/м<sup>3</sup> (для трития  $k_{p,r} \approx 1$ ).

Предварительные исследования показывают, что, ввиду чрезвычайно малых коэффициентов перехода РВ из промышленных водоемов в атмосферный воздух (кроме трития,  $k_{p,r} \ll 1$ ), критическим радионуклидом (который характеризуется преобладающим вкладом в годовую эффективную дозу облучения населения) является тритий и в этом случае перечень радионуклидов, удовлетворяющих указанному выше критерию из [7], может быть ограничен тритием.

Учитывая существующие нормативные требования, рекомендации и результаты скрининговых исследований радиоактивного загрязнения приземного атмосферного воздуха за счет выбросов трития с водной поверхности площадных источников, представляется целесообразным проведение скрининговых оценок необходимости нормирования указанных источников (в [13] под скрининговыми оценками понимается тип анализа, предназначенного для исключения из дальнейшего рассмотрения факторов, которые являются менее значимыми для защиты и безопасности, с тем чтобы сосредоточиться на более существенных факторах).

### Общий подход к оценке поступления трития с поверхности водоема в атмосферный воздух

Согласно [14] в условиях открытой водной системы РВ с поверхности промышленных водоемов могут поступать в атмосферу при:

- испарении воды в форме газообразных соединений трития (НТО и Т<sub>2</sub>O);
- капельном уносе в форме водного аэрозоля.

Возможна также эмиссия из водоемов в атмосферу содержащего тритий ( $\text{CH}_3\text{T}$ ) метана биогенного происхождения, который образуется в любом поверхностном водоеме за счет жизнедеятельности водных микроорганизмов [15]. Образование метана в водоемах происходит круглый год, но его эмиссия возможна только в теплое время года. К примеру, в холодный период на промышленных водоемах, созданных для хранения ЖРО ФГУП «ПО «Маяк», формируется устойчивый ледяной покров, и метан накапливается в воде водоемов, частично вмержая в лед [15].

Выбросом трития с эмиссией метана при выполнении предварительной оценки можно пренебречь, так как она не превышает 0,002 % от общего выброса трития [15].

Таким образом, выброс трития из промышленного водоема  $Q_{as}^{H-3}$  можно записать в виде:

$$Q_{as}^{H-3} = Q_{as,p}^{H-3} + Q_{as,d}^{H-3}, \quad (2)$$

где  $Q_{as,p}^{H-3}$  – годовое поступление трития из площадного источника за счет испарения, Бк/год;

$Q_{as,d}^{H-3}$  – годовое поступление трития из площадного источника за счет капельного уноса, Бк/год.

### Оценка поступления трития с поверхности промышленного водоема за счет капельного уноса

Исследования интенсивности поступления трития в атмосферный воздух с поверхности водных объектов в форме водного аэрозоля при капельном уносе длительный период проводятся в районе расположения промышленных водоемов, предназначенных для хранения ЖРО ФГУП «ПО «Маяк» (Челябинская область). Эмиссия трития в атмосферу с водным аэрозолем происходит неравномерно во времени и во многом определяется его содержанием в поверхностном слое воды [2]. В течение теплого времени года процесс образования водного аэрозоля формирует радиоактивное облако над поверхностью промышленных водоемов. Для консервативной оценки выброса удельные активности трития в водном аэрозоле и воде промышленного водоема принимаются равными [16].

Тогда годовое поступление трития в атмосферу за счет капельного уноса с поверхности водоема рассчитывается по формуле:

$$Q_{as,d}^{H-3} = \rho \cdot V^d \cdot \bar{\mathcal{A}}, \quad V^d = q \cdot S, \quad (3)$$

где  $q$  – интенсивность капельного уноса с поверхности промышленного водоема,  $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ ;

$S$  – площадь водной поверхности промышленного водоема,  $\text{м}^2$ ;

$V^d$  – потери воды промышленным водоемом за счет капельного уноса,  $\text{м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$ ;

$\rho$  – плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\bar{\mathcal{A}}$  – среднегодовая удельная активность трития в воде водоема, Бк/кг.

В отсутствие экспериментальных данных, для скрининговой оценки эмиссии трития за счет выноса капель воды с поверхности водоемов, расположенных близко к широтам нахождения промышленных водоемов ФГУП «ПО «Маяк», целесообразно использовать результаты исследований озера Карачай, для которого оценка среднегодовой интенсивности капельного уноса составляет  $q \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$  [1].

### Оценка поступления газообразных соединений трития в атмосферный воздух с поверхности промышленного водоема за счет испарения

Максимальная оценка испарения воды с поверхности промышленного водоема может быть получена на основе [17]. Для реализации данного метода требуются как измеряемые (скорость ветра), так и неизмеряемые (рассчитываемые и табулированные) параметры, использование которых существенно усложняет оценку выброса:

- поглощенная водой суммарная солнечная радиация;
- поглощенное водой встречное излучение атмосферы;
- теплообмен водной массы с ложем водоема;
- длина разгона воздушного потока;
- параметры, зависящие от скорости ветра, длины разгона воздушного потока, абсолютной влажности воздуха, общей и нижней облачности.

Расчет выброса трития при испарении воды промышленного водоема можно выполнить по формуле:

$$Q_{as,p}^{H-3} = S \cdot \rho \cdot \sum_l \bar{E}_{l,wm} \cdot \bar{\mathcal{A}}_{l,wm} = \rho \cdot V^p \cdot \bar{\mathcal{A}}_{wm}, \quad (4)$$

$$V^p = S \cdot \bar{E}_{wm},$$

где  $\bar{E}_{l,wm}$  – средняя испаряемость воды в течение теплого месяца  $l$ ,  $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мес}$ ;

$\bar{E}_{wm}$  – средняя испаряемость воды в течение теплого периода,  $\text{м}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}$ ;

$\bar{\mathcal{A}}_{l,wm}$  и  $\bar{\mathcal{A}}_{wm}$  – средняя удельная активность трития в воде водоема в течение теплого месяца  $l$  и теплого периода, соответственно, Бк/кг;

$L_{wm}$  – число теплых месяцев в течение года;

$V^p$  – потери воды промышленным водоемом за счет испарения,  $\text{м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$ .

Для оценки поступления трития в воздух при испарении воды с открытой поверхности промышленного водоема удобно воспользоваться эмпирической формулой Иванова Н. Н. на основе исходных данных о средней температуре и влажности воздуха за месяц [18]:

$$E = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot (25 + \bar{t}) \cdot (100 - f), \quad (5)$$

где  $E$  – испаряемость воды за месяц, м<sup>1</sup>·мес;

$\bar{t}$  – средняя температура воздуха за месяц, °С;

$f$  – средняя относительная влажность за месяц, %.

Для условий промышленных водоемов ФГУП «ПО «Маяк» можно принять, что указанная в формуле (4) величина  $\bar{E}_{wm}$  приблизительно равна 0,02 м<sup>3</sup>·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup>.

В рамках скринингового анализа, направленного на исключение из дальнейшего рассмотрения факторов, менее значимых для оценки поступления трития из промышленного водоема в атмосферный воздух, найдем отношение между оценками, выполненными по формулам (2) и (3):

$$\mu = \frac{Q_{as,p}^{H-3}}{Q_{as,d}^{H-3}} = \frac{V^p}{V^d} \cdot \frac{\bar{A}_{wm}}{\bar{A}}. \quad (6)$$

В предположении примерного постоянства удельной активности трития в воде промышленных водоемов в течение года получим:

$$\mu \approx \frac{V^p}{V^d} = \frac{\bar{E}_{wm}}{q}. \quad (7)$$

Исходя приведенных выше оценок  $q$  и  $\bar{E}_{wm}$  для промышленных водоемов ФГУП «ПО «Маяк», с учетом климатических характеристик Челябинской области, из формулы (7) будем иметь:

$$\mu \approx \frac{\bar{E}_{wm}}{q} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-5}} = 1 \cdot 10^3 \gg 1; \rightarrow Q_{as}^{H-3} \approx Q_{as,p}^{H-3}, \quad (8)$$

Из (8) следует, что потери воды рассматриваемыми промышленными водоемами за счет испарения на три порядка величины больше, чем за счет капельного уноса. Таким образом, единственным значимым путем поступления трития с поверхности промышленных водоемов в атмосферный воздух является испарение.

### Оценка необходимости нормирования промышленного водоема

В соответствии с рекомендациями [8] расчет годовой эффективной дозы облучения населения за счет выбросов трития на расстоянии  $x$  от

площадного источника в румбе направления ветра  $n$  проводится по формуле:

$$E_n^{H-3}(x) = Q_{as}^{H-3} \cdot \psi_n^{H-3}(x), \quad (9)$$

где  $\psi_n^{H-3}(x)$  – функция перехода, связывающая активность выброса трития площадным источником с годовой эффективной дозой облучения населения, Зв/год, расчет которой, в соответствии с рекомендациями [8], проводится по формуле:

$$\psi_n^{H-3}(x) = \frac{\bar{G}_n(x)}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{g_{H-3}}{H_{air}}, \quad (10)$$

где  $\bar{G}_n(x)$  – среднегодовой метеорологический фактор разбавления на расстоянии  $x$  от площадного источника выброса в румбе направления ветра  $n$ , с/м<sup>3</sup>;  $g_{H-3}$  – дозовый коэффициент для трития (2,6·10<sup>-8</sup> (Зв·л)/(Бк·год) [8]);

$H_{air}$  – абсолютная влажность воздуха, л/м<sup>3</sup> (в отсутствие результатов местных натурных исследований в [8] рекомендуется принимать равной 6·10<sup>-3</sup> л/м<sup>3</sup>).

Расчет фактора разбавления  $\bar{G}_n(x)$  проводится по формулам [8]:

$$\bar{G}_n(x) = \sum_j \sum_k \int_{-a}^a \frac{\omega_{njk}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{zj}^2(x - \xi)} \cdot U_k \cdot S} \cdot P_j(x - \xi) \cdot d\xi; \quad (11)$$

$$P_j(x) = \sum_{j=-2}^2 \left\{ \exp \left[ -\frac{(2 \cdot l \cdot H_j - Z)^2}{2 \cdot \sigma_{zj}^2(x)} \right] + \exp \left[ -\frac{(2 \cdot l \cdot H_j - Z)^2}{2 \cdot \sigma_{zj}^2(x)} \right] \right\},$$

$$H_j = 1,25 \cdot \sigma_{zj}^{max}, \quad (12)$$

где  $x$  – расстояние от центра источника вдоль направления ветра, м;

$S$  – площадь поверхности площадного источника, м<sup>2</sup>;

$a$  – половина длины стороны площадного источника, м;

$\omega_{njk}$  – повторяемость метеорологических условий, представляющая собой вероятность совместной реализации направления ветра в румбе  $n$  при категории устойчивости  $j$  и градации скорости ветра  $k$ ;

$U_k$  – скорость ветра на высоте флюгера, м/с;

$\sigma_{zj}(x)$  – дисперсия струи по вертикали на расстоянии  $x$  от источника для категории устойчивости атмосферы  $j$ , м;

$\sigma_{zj}^{max}$  – максимальные значения величины  $\sigma_{zj}(x)$  [8], м;

$H_j$  – высота слоя перемешивания для категории устойчивости атмосферы  $j$ , м;

$Z$  – высота над поверхностью земли, которую в [8] рекомендуется принимать равной 1 м.

Выражение (12) с приемлемой для практики точностью можно записать в виде:

$$P_j(x) \approx 2 \cdot \exp \left[ -\frac{z^2}{2 \cdot \sigma_{zj}^2(x)} \right]. \quad (13)$$

Тогда формулу (11) с учетом (13) можно записать в виде:

$$\bar{G}_n(x) = \sum_j \sum_k \int_{-a}^a \frac{2 \cdot \omega_{njk}}{\sqrt{\pi} \cdot U_k \cdot S \cdot Z} \cdot \Psi(\zeta_j) \cdot d\xi; \quad (14)$$

$$\Psi(\zeta_j) = \zeta_j \cdot \exp[-\zeta_j^2], \quad \zeta_j = \frac{z}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{zj}(x-\xi)}. \quad (15)$$

Для нахождения максимума функции  $\bar{G}_n(x)$  следует найти максимум функции  $\Psi(\zeta_j)$ . Необходимое и достаточное условия существования максимума этой функции записываются в виде:

$$\frac{\partial \Psi(\zeta_j)}{\partial \zeta_j} = 0, \quad \frac{\partial^2 \Psi(\zeta_j)}{\partial \zeta_j^2} < 0. \quad (16)$$

Проверим соблюдение указанных выше условий с учетом (11):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Psi(\zeta_j)}{\partial \zeta_j} &= \exp\{-\zeta_j^2\} \cdot (1 - 2 \cdot \zeta_j^2) = 0 \rightarrow \\ &\rightarrow \zeta_{*j} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \sigma_{zj}(x-\xi) = 1, \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Psi(\zeta_j)}{\partial \zeta_j^2} &= -2 \cdot \zeta_{*j} \cdot \exp\{-\zeta_{*j}^2\} \cdot (3 - 2 \cdot \zeta_{*j}^2) = \\ &= -2 \cdot \sqrt{\frac{2}{e}} < 0, \end{aligned} \quad (18)$$

где  $\zeta_{*j}$  – критическая точка функции  $\Psi(\zeta_j)$ .

Тогда:

$$\Psi_{max} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot e}}, \quad (19)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма.

Тогда верхняя оценка величины  $\bar{G}_n(x)$  приобретает вид:

$$\bar{G}_n(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} \cdot \frac{1}{\sqrt{S} \cdot Z} \cdot \sum_j \sum_k \frac{\omega_{njk}}{U_k}. \quad (20)$$

В отсутствие данных о величинах  $\{\omega_{njk}\}$  выражение (20), в соответствии с рекомендацией приложения № 1 к [8], можно записать в виде:

$$\bar{G}_n(x) \approx \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} \cdot \frac{\omega_n}{\sqrt{S} \cdot Z \cdot \bar{U}}. \quad (21)$$

где:  $\omega_n$  – повторяемость направлений ветра в румбе  $n$ ; консервативно принимается  $\omega_n = 0,25$ .

$\bar{U}$  – среднегодовая скорость ветра, м/с.

Верхнюю оценку для величины  $\psi_n^{H-3}(x)$  с учетом формул (10) и (21) можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} \overline{\psi_n^{H-3}} &= \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot e}} \cdot \frac{\omega_n}{\sqrt{S} \cdot Z \cdot \bar{U}} \cdot \frac{1}{3,15 \cdot 10^7} \cdot \frac{g_{H-3}}{H_{air}} \approx \\ &\approx 1,67 \cdot 10^{-14} \cdot \frac{1}{\sqrt{S} \cdot Z \cdot \bar{U}}. \end{aligned} \quad (22)$$

Подставляя в формулу (9) выражение (22), с учетом (3) и (8) получим верхнюю оценку годовой эффективной дозы от выбросов трития из площадного источника:

$$\overline{E^{H-3}} = 1,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{\sqrt{S} \cdot \bar{E}_{wm} \cdot \bar{A}_{wm}}{Z \cdot \bar{U}}. \quad (23)$$

Из формулы (23) можно получить критерий необходимости нормирования выбросов РВ с поверхности промышленного водоема в атмосферный воздух:

$$\overline{E^{H-3}} \geq \text{МЗД} \rightarrow \bar{A}_{wm} \geq 6,0 \cdot 10^5 \cdot \frac{Z \cdot \bar{U}}{\sqrt{S} \cdot \bar{E}_{wm}}. \quad (24)$$

Для промышленного водоема ФГУП «ПО «Маяк» условие необходимости нормирования выбросов РВ может быть записано в виде:

$$\bar{A}_{wm} \geq \frac{1,1 \cdot 10^8}{\sqrt{S}}, \quad [S] = \text{м}^2, \quad [\bar{A}_{wm}] = \text{Бк} \cdot \text{кг}^{-1}. \quad (25)$$

### Заключение

Представленный алгоритм скрининговой оценки выброса газообразных соединений трития с поверхности промышленных водоемов и последующая оценка дозы облучения населения без учета разбавления выброса позволяют эксплуатирующим организациям принять обоснованное решение о необходимости или отказе от нормирования выброса РВ в атмосферу из таких источников на основе результатов измерения удельной активности трития в воде промышленных водоемов, в которых тритий является критическим радионуклидом. Численные значения годовой эффективной дозы не могут быть использованы для обоснования условий радиационной безопасности для персонала, населения и окружающей среды, поскольку в основе расчетов лежит сверхконсервативное условие – отсутствие разбавления радиоактивных веществ в атмосферном воздухе.

В случае принятия решения о нормировании выбросов РВ промышленных водоемов с целью контроля их соблюдения требуется разработка и верификация методики расчета выбросов РВ

в атмосферный воздух в соответствии с требованиями постановления Правительства Российской Федерации [19] на основе измерения физических параметров, однозначно связанных с интенсивностью поступления радионуклидов в атмосферный воздух.

Постоянный контроль поступления трития с парами воды может быть организован путем мониторинга метеопараметров атмосферы и температуры воды в промышленном водоеме для расчета интенсивности испарения воды по разнице парциальных давлений паров воды при температуре атмосферного воздуха и воды в водоеме [20, 21].

### Литература

1. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Изучение параметров источника генерации водного аэрозоля с акватории водоема Карачай // Вопросы радиационной безопасности. 2016. № 1 (81). С. 5–14.
2. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Изучение загрязнения атмосферы вблизи водоема Карачай в результате ветрового уноса водного аэрозоля с его поверхности // Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 1 (85). С. 67–79.
3. Екидин А. А., Антонов К. Л., Жуковский М. В. Оценка загрязнения атмосферы тритием при испарении воды с поверхности промышленных водоемов // Вопросы радиационной безопасности. 2012. № 3 (67). С. 3–10.
4. Востротин В. В., Янов А. Ю. Оценка уровня годового поступления трития в воздух с поверхности озера Кызылташ // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15. № 4. С. 88–96.
5. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП-019-15: утв. приказом Ростехнадзора от 25.06.2015 № 242.
6. Об утверждении Правил разработки и установления нормативов допустимых выбросов радиоактивных веществ, нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ, а также выдачи разрешений на выбросы радиоактивных веществ, разрешений на сбросы радиоактивных веществ: постановление Правительства Российской Федерации от 02.02.2024 № 99.
7. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух (ПДВ-2012): утв. приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639.
8. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. РБ-106-21: утв. приказом Ростехнадзора от 30.08.2021 № 288.
9. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. Рекомендации по методам и средствам контроля за выбросами радиоактивных веществ в атмосферный воздух. РБ-135-17: утв. приказом Ростехнадзора от 30.08.2017 № 347.
10. Radionuclides National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (40 CFR 61). Subpart H to Part 61, Subsection 61.93. – United States Environmental Protection Agency, 1973.
11. Курындин А. В., Шаповалов А. С., Тимофеев Н. Б. О методах выбора нормируемых радионуклидов и источников выброса при разработке нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух // Ядерная и радиационная безопасность. 2019. № 2 (92). С. 17–23. DOI: 10.26277/SECNRS.2019.92.2.003.
12. Об утверждении Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.10.2023 № 2909-р.
13. Глоссарий МАГАТЭ по ядерной безопасности и физической ядерной безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности, ядерной физической безопасности, радиационной защиты и обеспечения аварийной готовности и реагирования. Издание 2022 г. (промежуточное).
14. Methods for estimating fugitive air emissions of radionuclides from diffuse sources at DOE facilities. Final report. – U. S. Environmental Protection Agency, 2004.

15. Екидин А. А., Антонов К. Л., Васянович М. Е., Назарович А. В. Формирование загрязнения тритием атмосферного воздуха над акваториями промышленных водоемов // Радиоактивные отходы. 2022. № 4 (21). С. 103–113. DOI 10.25283/2587-9707-2022-4-103-113.
16. Мокров К. Ю., Мокров Ю. Г. Оценка интегрального выноса долгоживущих радионуклидов с водным аэрозолем водоема Карачай на основе анализа данных о загрязнении почвы в районе его расположения. Вопросы радиационной безопасности. 2017. № 1 (89). С. 19–35.
17. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 85 с.
18. Иванов Н. Н. Об определении величины испаряемости // Известия всесоюзного географического общества. 1954. Т. 86. Вып. 2, с. 189–196.
19. Об утверждении правил разработки и утверждения методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками: постановление Правительства Российской Федерации от 16.05.2016 № 422.
20. Екидин А. А., Антонов К. Л., Васильев А. В., Васянович М. Е., Пышкина М. Д., Курындин А. В., Шаповалов А. С. и др. Оценка поступления трития в атмосферу из брызгальных бассейнов Балаковской АЭС в холодный период // Ядерная и радиационная безопасность. 2017. № 3 (85). С. 35–46.
21. Екидин А. А., Антонов К. Л., Васянович М. Е., Десятов Д. Д. Влияние метеопараметров на интенсивность выброса трития из брызгальных бассейнов // Атомная энергия. 2023. Т. 135. № 5–6. С. 232–239.

### References

1. Mokrov K. Yu., Mokrov Yu. G. (2016). Izuchenie parametrov istochnika generacii vodnogo aerolya s akvatorii vodoyoma Karachaj [Research of the parameters of the source of generation of water aerosol from water area of the Karachay reservoir]. Voprosy radiacionnoj bezopasnosti – Radiation safety issues, No. 1 (81), pp. 5–14. [in Russian].
2. Mokrov K. Yu., Mokrov Yu. G. (2017). Izuchenie zagryazneniya atmosfery vblizi vodoyoma Karachaj v rezul'tate vetrovogo unosa vodnogo aerolya s ego poverhnosti [Research of air pollution near the Karachay reservoir as a result of wind removal of water vapor from its surface]. Voprosy radiacionnoj bezopasnosti – Radiation safety issues, No. 1 (85), pp. 67–79. [in Russian].
3. Ekin A. A., Antonov K. L., Zhukovskij M. V. (2012). Ocenka zagryazneniya atmosfery tritiem pri isparenii vody s poverhnosti promyshlennykh vodoyomov [Assessment of atmospheric pollution by tritium during water evaporation from the surface of industrial reservoirs]. Voprosy radiacionnoj bezopasnosti – Radiation safety issues, No. 3 (67), pp. 3–10. [in Russian].
4. Vostrotin V. V., Yanov A. Yu. (2022). Ocenka urovnya godovogo postupleniya tritiya v vozdukh s poverhnosti ozera Kyzyltash [Estimation of the level of annual tritium release into the air from the surface of Lake Kyzyltash]. Radiacionnaya gigiena – Radiation hygiene, v. 15, No. 4, pp. 88–96. [in Russian].
5. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii “Sbor, pererabotka, khranenie i kondicionirovanie zhidkikh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti” (NP-019-15) [Federal rules and regulations in the field of atomic energy use “Collection, processing, storage and conditioning of liquid radioactive waste” (NP-019-15)]. 2015.
6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoi Federatsii ot 02.02.2024 No. 99 “Ob utverzhdenii Pravil razrabotki i ustanovleniya normativov dopustimyx vybrosov radioaktivnykh veshchestv, normativov dopustimyx sbrosov radioaktivnykh veshchestv, a takzhe o vydache razreshenii na vybrosy radioaktivnykh veshchestv, razreshenii na sbrosy radioaktivnykh veshchestv” [The Russian Federation Government Decree of 02.02.2024 No. 99 “On the approval of Rules for the development and establishment of limits for radioactive airborne effluents, limits for radioactive liquid effluents, as well as the issuance of authorizations for radioactive discharges”]. 2024.
7. Metodika razrabotki i ustanovleniya normativov predel'no dopustimyx vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosferyni vozdukh [Methodology for developing and setting limits for radioactive airborne effluents]. 2012.
8. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomenduemye metody rascheta parametrov, neobkhodimyx dlya razrabotki i ustanovleniya normativov predel'no dopustimyx vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosferyni vozdukh” (RB-106-21) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommended methods for calculation of parameters necessary to develop and establish limits for discharges of radioactive substances into atmosphere” (RB-106-21)]. 2021.



9. Rukovodstvo po bezopasnosti pri ispol'zovanii atomnoi ehnergii “Rekomendacii po metodam i sredstvam kontrolya za vybrosami radioaktivnykh veshchestv v atmosferyni vozdukh” (RB-135-17) [Safety guide in the field of atomic energy use “Recommendations on methods and means of control for discharges of radioactive substances into atmosphere” (RB-135-17)]. 2017.

10. Radionuclides National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (40 CFR 61). Subpart H to Part 61, Subsection 61.93. – United States Environmental Protection Agency, 1973.

11. Kuryndin A. V., Shapovalov A. S., Timofeev N. B. (2019). O metodakh vybora normiruemykh radionuklidov i istochnikov vybrosa pri razrabotke normativov predel'no dopustimyykh vybrosov radioaktivnykh veshchestv v atmosferyni vozdukh [On methods for selection of radioactive airborne discharge sources and radionuclides for which discharge limits shall be set]. Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost' – Nuclear and radiation safety, No. 2 (92). Pp. 17–23. DOI: 10.26277/SECNRS.2019.92.2.003. [in Russian].

12. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federacii ot 20.10.2023 No. 2909-r “Perechen' zagryaznyayushchikh veshchestv, v otnoshenii kotorykh primenyayutsya mery gosudarstvennogo regulirovaniya v oblasti okhrany okruzhayushchei sredy” [The Russian Federation Government ordinance of 20.10.2023 No. 2909-r “On the approval of the list of pollutants and contaminants subject to governmental regulation in the field of environmental protection”]. 2023.

13. IAEA Nuclear Safety and Security Glossary. Terminology Used in Nuclear Safety, Nuclear Security, Radiation Protection and Emergency Preparedness and Response. 2022 (Interim) Edition.

14. Methods for estimating fugitive air emissions of radionuclides from diffuse sources at DOE facilities. Final report. – U. S. Environmental Protection Agency, 2004.

15. Ekidin A. A., Antonov K. L., Vasyanovich M. E., Nazarovich A. V. (2022). Formirovanie zagryazneniya tritiem atmosfernogo vozduha nad akvatoriyami promyshlennykh vodoemov [Formation of tritium pollution of atmospheric air over the water areas of industrial reservoirs]. Radioaktivnye otkhody – Radioactive waste, No. 4 (21), pp. 103–113. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-4-103-113. [in Russian].

16. Mokrov K. Yu., Mokrov Yu. G. (2017). Ocenka integral'nogo vynosa dolgozhivushchikh radionuklidov s vodnym aerozolem vodoyoma Karachaj na osnove analiza dannykh o zagryaznenii pochvy v rajone ego raspolozheniya [Estimation of the integral removal of long-lived radionuclides with water aerosol of the Karachay reservoir based on the analysis of data on soil contamination in the area of its location]. Voprosy radiacionnoj bezopasnosti – Radiation safety issues, No. 1 (89), pp. 19–35. [in Russian].

17. Ukazaniya po raschetu ispareniya s poverkhnosti vodoyomov [Guidelines for calculating evaporation from the surface of water bodies]. Gidrometeoizdat – Hydrometeoizdat, 1969, 85 p. [in Russian].

18. Ivanov N. N. (1954). Ob opredelenii velichiny isparyaemosti [On determining the value of evaporation]. Izvestiya vsesoyuznogo geograficheskogo obschestva – News of the All-Union Geographical Communion, v. 86, pp. 189–196. [in Russian].

19. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 16.05.2016 No. 422 “Pravila razrabotki i utverzhdeniya metodik rascheta vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosferyni vozdukh stacionarnymi istochnikami” [The Russian Federation Government Decree of 16.05.2016 No. 422 “On approval of rules for the development and approval of methods for calculating emissions of harmful (polluting) substances into the atmosphere by stationary sources”]. 2016.

20. Ekidin A. A., Antonov K. L., Vasil'ev A. V., Vasyanovich M. E., Pyshkina M. D., Kuryndin A. V., Shapovalov A. S., et. al. (2017). Ocenka postupleniya tritiya v atmosferu iz bryzgal'nykh bassejnov Balakovskoj AES v holodnyj period [Estimation of tritium release into the atmosphere from spray cooling ponds of the Balakovo NPP during the cold season]. Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost' – Nuclear and radiation safety, No. 3 (85), pp. 35–46. [in Russian].

21. Ekidin A. A., Antonov K. L., Vasyanovich M. E., Desyatov D. D. (2023). Vliyanie meteoparametrov na intensivnost' vybrosa tritiya iz bryzgal'nykh bassejnov [The influence of meteorological parameters on the intensity of tritium airborne discharges from spray cooling ponds]. Atomnaya energiya – Atomic Energy, v. 135, No. 5–6, pp. 232–239. [in Russian].

#### Сведения об авторах

*Курындин Антон Владимирович*, заместитель директора, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Понизов Антон Владимирович*, заместитель директора, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Шаповалов Альберт Сергеевич*, начальник отдела аварийной готовности и радиационной защиты подразделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Тимофеев Николай Борисович*, начальник лаборатории радиационной защиты отдела аварийной готовности и радиационной защиты подразделения ядерной и радиационной безопасности, федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (107140, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Красносельский, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5).

*Екидин Алексей Акимович*, ведущий научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (620137, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20).

*Антонов Константин Леонидович*, старший научный сотрудник, Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук (620137, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20).

### Authors credentials

*Kuryndin Anton Vladimirovich*, Deputy Director, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: kuryndin@secnrs.ru.

*Ponizov Anton Vladimirovich*, Deputy Director, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: ponizov@secnrs.ru.

*Shapovalov Albert Sergeevich*, Head of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: shapovalov@secnrs.ru.

*Timofeev Nikolay Borisovich*, Head of Laboratory of Radiation Protection of Division of Emergency Preparedness and Radiation Protection of Nuclear and Radiation Safety Department, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (2/8 bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., vn. ter. g. municipalnyi okrug Krasnoselskii, Moscow, 107140), e-mail: ntimofeev@secnrs.ru.

*Ekidin Alexey Akimovich*, Leading researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620137), e-mail: ekidin@mail.ru.

*Antonov Konstantin Leonidovich*, Senior research associate, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, S. Kovalevskaya st., Yekaterinburg, 620137), e-mail: antonov@ecko.uran.ru.

### Для цитирования

*Курындин А. В., Понизов А. В., Шаповалов А. С., Тимофеев Н. Б., Екидин А. А., Антонов К. Л.* Предварительная оценка необходимости нормирования промышленного водоема как источника радиационного воздействия на человека // Ядерная и радиационная безопасность. 2025. № 1 (115). С. 31–40. DOI: 10.26277/SECNRS.2025.115.1.002.

### For citation

*Kuryndin A. V., Ponizov A. V., Shapovalov A. S., Timofeev N. B., Ekidin A. A., Antonov K. L.* (2025). Predvaritel'naya ocenka neobhodimosti normirovaniya promyshlennogo vodoema kak istochnika radiacionnogo vozdeystviya na cheloveka [Preliminary assessment of the need for regulation of industrial reservoirs as a source of radiation exposure to humans]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 1 (115), pp. 31–40. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2025.115.1.002.