

УДК 504.3.054:614.876:546.11.02.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА $^3\text{H}$ В ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЕГО ПОСТУПЛЕНИИ С ВОЗДУХОМ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Марченко О.О., Ляхова О.Н., Тимонова Л.В.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В работе приведены данные по содержанию трития ( $^3\text{H}$ ) в атмосферном воздухе в местах расположения штолен на площадке «Дегелен» Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Зафиксировано присутствие тритированной воды (НТО) и газообразных соединений (НТ) в воздушной среде как на территории пл. «Дегелен», так и за ее пределами.

На основе полученных данных определен вклад  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку для персонала и населения при поступлении с воздухом на примере площадки «Дегелен». Установлено, что вклад  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку для персонала (ингаляционное поступление), при проведении работ в местах максимальной концентрации  $^3\text{H}$  в воздухе, составит не более 1%. Вклад  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку для населения, в случае ведения хозяйственной деятельности за пределами площадки «Дегелен», в местах расположения водотоков с высокой концентрацией  $^3\text{H}$  в воде и воздухе, составит порядка 10%.

### ВВЕДЕНИЕ

$^3\text{H}$  – бета-излучатель с хорошей миграционной способностью, в силу своих физико-химических свойств, может включаться в генетические структуры любых живых организмов и оказывать на них негативное ионизирующее воздействие вследствие локального облучения бета-частицами, а также способствовать возникновению различных эффектов трансмутации. Зачастую такие изменения связаны с изменениями в химической природе атомов [1].

Радиационное воздействие  $^3\text{H}$  на человека может являться следствием потребления продуктов питания и питьевой воды, загрязненных  $^3\text{H}$ , а также, при вдыхании и через кожный покров [2].

Исследования [3] показали, что в организм человека, проживающего вблизи действующих ядерных энергетических установок, через органы дыхания и кожные покровы (т.е. воздушным путем) поступает до 65%  $^3\text{H}$  и его соединений. В связи с этим, вклад поступления  $^3\text{H}$  с воздухом необходимо учитывать при проведении оценки доз.

В ходе ранее проведенных исследований выявлено, что на территории СИП, вследствие проведения ядерных испытаний, образовались локальные участки с высоким уровнем концентрации  $^3\text{H}$  в объектах окружающей среды. В результате различных процессов перераспределения, таких как испарение с поверхности воды, эвапотранспирация и транспирация, эманация с поверхности почвы, процессы жизнедеятельности растений и микроорганизмов  $^3\text{H}$  поступает в атмосферный воздух.

Так как воздух является одним из основных путей поступления  $^3\text{H}$  в организм человека, необходимо провести оценку эффективной дозы (Е) для персонала, проводящего работы в пределах тритиево-загрязненных участков на СИП, и для населения, ведущего хозяйственную деятельность на прилегающих к ним территориях.

Основные формы соединений  $^3\text{H}$ , поступающие в воздушную среду – НТО и НТ. В связи с этим, при определении вклада  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку, необходимо учитывать содержание обеих форм  $^3\text{H}$  в воздухе.

Целью данной работы являлось определение вклада  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку для персонала и населения при его поступлении с воздухом на примере площадки «Дегелен».

### МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено на примере площадки «Дегелен», которая характеризуется максимальной концентрацией  $^3\text{H}$  во всех объектах окружающей среды на территории СИП. В свободной воде растений, в подземных и поверхностных водах вблизи расположения штолен удельная активность  $^3\text{H}$  составляет порядка  $n \cdot 10^4$  –  $n \cdot 10^5$  Бк/кг. Часть штолен имеет сезонные водотоки, которые гидрологически связаны с основными ручьями, расположенными на данной площадке и выходящими за ее пределы. Концентрация  $^3\text{H}$  в воде ручьев, а также в компонентах природной среды их прибрежной зоны достигает десятки и сотни тысяч Бк/кг [4].

### Отбор проб воздуха

Для оценки Е для персонала изучено содержание  $^3\text{H}$  в воздухе на площадке «Дегелен». Для этого отобраны пробы атмосферного воздуха внутри площадки «Дегелен», в местах расположения штолен (в местах предполагаемого проведения полевых работ персоналом), где согласно ранее полученным результатам отмечены численные значения  $^3\text{H}$  в атмосферном воздухе.

Отбор проб проводился на следующих участках:

– у портала штолен с водопроявлением, где согласно ранее полученным результатам отмечены высокие значения удельной активности  $^3\text{H}$  в воде (14 штолен – 204, 802, 165, 177, 504, 176, 506, 3-1, 203, 104, 609, 503, 511, 501);

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА  $^3\text{H}$  В ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЕГО ПОСТУПЛЕНИИ С ВОЗДУХОМ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

– над эпицентральной частью штолен без водопроявления, в местах максимального разрушения скальной породы, где возможен выход  $^3\text{H}$  в воздушную среду через трещиноватости горной породы непосредственно из самой полости штолен (6 штолен – 505, 107, 132, 208, 185, 175).

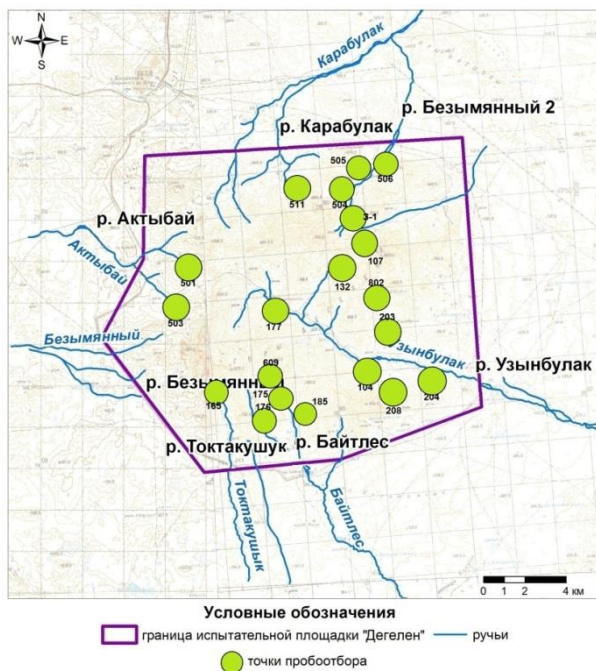


Рисунок 1. Отбор проб в местах расположения штолен

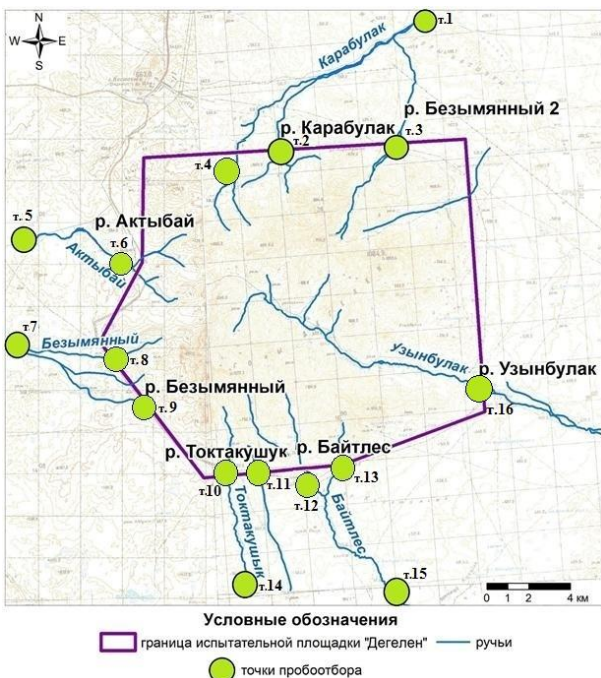


Рисунок 2. Отбор проб на границе площадки «Дегелен» и за ее пределами

Места отбора проб определялись по результатам изучения архивной информации и дополнительно в

ходе визуального осмотра на местах. Расположение обследованных штолен представлено на рисунке 1.

Для оценки  $E$  для населения пробы воздуха отобраны в русле ручьев, на участках, расположенных за границей площадки «Дегелен». Участки отбора проб выбирались на основании результатов ранее проведенных исследований, согласно которым зоны выхода  $^3\text{H}$  за границы площадки «Дегелен» локализованы вдоль русел основных ручьев Карабулак, Узынбулак, Байтлес, Токтакушук, Актыбай, Безымянный и Безымянный-2. Удельная активность  $^3\text{H}$  в воде ручьев варьирует в широком диапазоне значений от 20 до 250 кБк/кг. Пробы воздуха отбирались непосредственно у кромки уреза воды на участках русла в местах выхода ручьев за границу площадки «Дегелен» и на прилегающей к ней территории, где согласно многолетним наблюдениям местное население ведет хозяйственную деятельность – производит выпас скота и заготовку сена (рисунок 2).

**Методы отбора и измерения проб воздуха**

Отбор проб атмосферного воздуха для определения  $^3\text{H}$  проводился при помощи коллектора трития OS1700 (рисунок 3). Данное устройство предназначено для исследования содержания газообразных соединений  $^3\text{H}$ , которые могут быть представлены в воздухе в виде НТО и НТ.



Рисунок 3. Коллектор трития OS1700

Отобранные пробы воздуха анализировались при помощи жидкосцинтилляционного бета-радиометра SL-300 (рисунок 4), позволяющего определять  $^3\text{H}$  в образцах на уровне 0,3 Бк/м<sup>3</sup>. Время измерения одной пробы составляло 10 часов.



Рисунок 4. Бета-радиометр SL-300

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ  $^3\text{H}$  В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ**

**Оценка содержания  $^3\text{H}$  в воздушной среде в пределах площадки «Дегелен»**

Результаты исследования концентрации  $^3\text{H}$  в воздушной среде в местах расположения штолен представлены на рисунке 5.

Согласно полученным результатам, на всех исследованных штольнях, за исключением шт. 501, зафиксировано присутствие  $^3\text{H}$  в воздушной среде в двух формах НТО и НТ. Объемная активность  $^3\text{H}$  в воздухе для НТО составила – от  $<0,3$  до  $230 \text{ Бк/м}^3$ , НТ – от  $<0,3$  до  $33,0 \text{ Бк/м}^3$ .

Анализ всех полученных данных показал, что концентрация НТО в воздухе значительно выше в районе расположения штолен с водопроявлениями, повышенные значения НТ в воздушной среде зафиксированы над эпицентральной частью штолен без водопроявлений.

Максимальное значение объемной активности

НТО зафиксировано в районе шт. 204, в месте высокого содержания  $^3\text{H}$  в воде. Вероятнее всего, это связано с тем, что  $^3\text{H}$  поступает в воздух в результате испарения с поверхности воды, содержащей  $^3\text{H}$  (рисунок 5).

Максимальное значение для НТ отмечено в месте расположения шт. 505 –  $33 \text{ Бк/м}^3$ . Сама штольня отличается сильной разрушенностью скальных пород, поверхностных вод вблизи штольни нет, вследствие чего содержание НТО в воздухе низкое. Источником поступления НТ в воздух, предположительно, могут служить процессы, связанные с выходом газообразных радиоактивных продуктов деления из полости штолен, которые объяснить на данный момент не представляется возможным (рисунок 5).

**Оценка содержания  $^3\text{H}$  в воздушной среде на границе площадки «Дегелен» и за ее пределами**

Результаты определения удельной активности  $^3\text{H}$  в воздухе исследуемых участков представлены на рисунке 6.

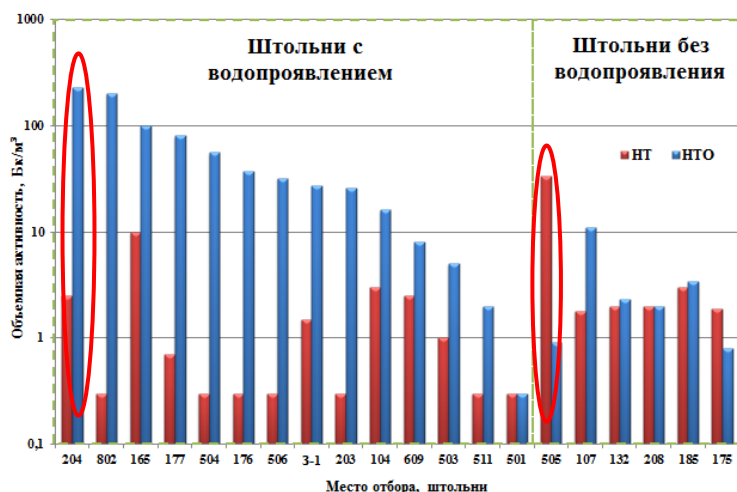


Рисунок 5. Концентрация НТО и НТ в воздухе в местах расположения штолен площадки «Дегелен»

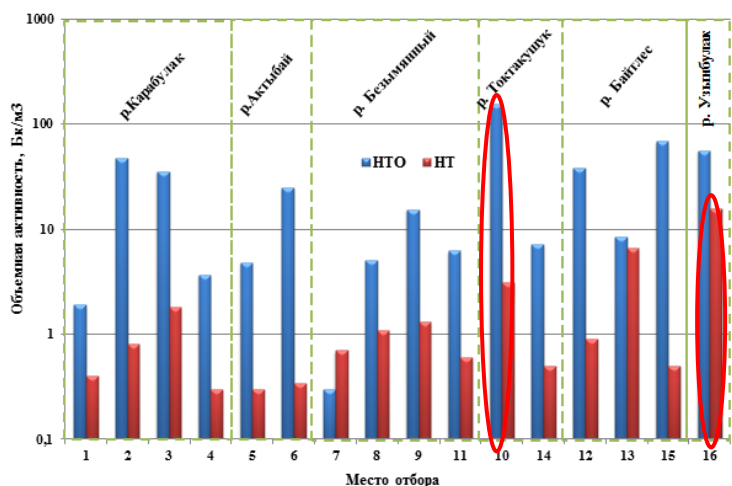


Рисунок 6. Концентрация НТО и НТ на границе площадки «Дегелен» и за ее пределами

Численные значения объемной активности НТО зафиксированы на всех участках исследования, за исключением русла р. Безымянный. Значения объемной активности НТО в воздухе изменялись в диапазоне от  $<0,3$  до  $154,0 \text{ Бк/м}^3$ , максимальная концентрация отмечена в районе р. Токтакушук, в месте выхода русла за пределы площадки «Дегелен». Содержание НТ в воздухе изменялось от  $<0,3$  до  $16,0 \text{ Бк/м}^3$ , максимальное содержание отмечено на границе площадки в русле р. Узынбулак.

Проведенное исследование показало присутствие НТО и НТ в воздушной среде как на территории площадки «Дегелен», так и далеко за ее пределами. Данный факт указывает на необходимость проведения контроля тритиевого загрязнения воздуха на исследуемой территории. Необходимо отметить, что значения объемной активности НТО и НТ в воздухе на всех участках исследования не превысили значения допустимой объемной активности  $^3\text{H}$  во вдыхаемом воздухе для населения, которое составляет  $1900 \text{ Бк/м}^3$  [5].

Полученные данные при оценке содержания  $^3\text{H}$  в воздушной среде на площадке «Дегелен» и за ее пределами использованы для определения вклада данного радионуклида в дозовую нагрузку для персонала и населения при поступлении с воздухом.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА $^3\text{H}$ В ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ С ВОЗДУХОМ

Характеристикой воздействия источника внутреннего облучения является величина активности соединений  $^3\text{H}$ , поступивших в течение года в организм человека с воздухом через органы дыхания и через кожный покров. Величина этого поступления определяет величину годовой  $E$  внутреннего облучения.

##### Методика расчета эффективной дозы

Для расчета использованы следующие формулы [6]:

$$P_i = A_i \cdot V \cdot t \quad (1)$$

$$E_i = P_i \cdot e \quad (2)$$

$$E = \sum E_i \quad (3)$$

где:  $P_i$  – величина активности  $i$ -го соединения  $^3\text{H}$ , поступившего в организм человека, Бк;  $E_i$  – эффективная доза от поступления в организм  $i$ -го соединения  $^3\text{H}$ , Зв;  $A_i$  – объемная активность соединения  $^3\text{H}$  в воздухе на рабочем месте,  $\text{Бк/м}^3$ ;  $V$  – интенсивность воздухообмена в легких,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $t$  – время работы, ч;  $e$  – дозовый коэффициент  $i$ -го соединения  $^3\text{H}$ , Зв/Бк;  $E$  – суммарная эффективная доза от поступления соединений трития в организм, Зв.

##### Вклад в дозовую нагрузку для персонала

Для расчета  $E$  для персонала произведена консервативная оценка, при условии, что работник находится во время всего полевого сезона на данной территории в течение рабочего времени.

Использованы следующие исходные данные:

– Время облучения – 900 ч в год (с учетом работы во вредных условиях и длительности полевого се-

зона – 6 месяцев, 21 рабочий день в месяц по 7,2 часов).

– Интенсивность воздухообмена в легких –  $1,4 \text{ м}^3/\text{час}$ .

– Дозовый коэффициент для персонала: НТО –  $1,8 \cdot 10^{-11}$  Зв/Бк, НТ –  $1,8 \cdot 10^{-15}$  Зв/Бк.

При расчете  $E$  для персонала использованы максимальное и среднее значения объемной активности  $^3\text{H}$  в воздухе на площадке «Дегелен». В результате расчетов получены следующие значения  $E$ :

$$E_{\text{макс}} = 0,005 \text{ мЗв}$$

$$E_{\text{сред}} = 0,001 \text{ мЗв}$$

Учитывая, что предел годовой  $E$  от поступления радионуклидов в организм для персонала составляет 20 мЗв за год, для населения – 1 мЗв, согласно [5], полученные значения не превышают данных нормативов. Значение  $E_{\text{макс}}$ , полученное при расчетах, составляет порядка 1 % от предела годовой  $E$  для персонала.

##### Вклад в дозовую нагрузку для населения

Для проведения оценки дозы для населения рассматривался следующий сценарий: человек находится вблизи границ площадки «Дегелен» во время выпаса скота.

При расчете  $E$  для населения использованы следующие исходные данные:

– Время облучения – 2 520 ч в год (с учетом выпаса скота 7 месяцев в году, в среднем 30 дней в месяц по 12 часов).

– Интенсивность воздухообмена в легких –  $0,9 \text{ м}^3/\text{час}$ .

– Дозовый коэффициент для  $^3\text{H}$  –  $2,7 \cdot 10^{-10}$  Зв/Бк.

При расчете  $E$  для населения также использованы максимальное и среднее значения объемной активности  $^3\text{H}$  в воздухе на границе площадки «Дегелен» и за ее пределами. В результате получены следующие значения:

$$E_{\text{макс}} = 0,1 \text{ мЗв}$$

$$E_{\text{сред}} = 0,02 \text{ мЗв}$$

Установлено, что  $E$  для населения не превышает допустимых пределов доз. Но данное значение попадает в диапазон уровня исследования при локальных загрязнениях ( $0,01$ – $0,3 \text{ мЗв/год}$ ), установленный [5]. При достижении данного уровня радиационного воздействия требуется выполнить исследование источника ионизирующего излучения с целью уточнения оценки величины годовой эффективной дозы и определения величины дозы, ожидаемой за 70 лет. В связи с этим рассчитана  $E$ , ожидаемая за 70 лет по следующей формуле (с учетом периода полураспада  $^3\text{H}$ ):

$$E_{70} = E \sum_{t=1}^{70} e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}} \quad (4)$$

где:  $E$  – суммарная годовая эффективная доза от поступления соединений трития в организм, Зв;  $E_{70}$  – эффективная доза, ожидаемая за 70 лет, Зв;  $t$  – промежуток времени;  $T_{1/2}$  – период полураспада ( $T_{1/2}(^3\text{H})=12,3 \text{ лет}$ ).

В результате получены следующие значения:

$$E_{\text{макс}(70)} = 1,7 \text{ мЗв}$$

$$E_{\text{сред}(70)} = 0,3 \text{ мЗв}$$

где:  $E_{\text{макс}(70)}$  – максимальное значение эффективной дозы, ожидаемой за 70 лет;  $E_{\text{сред}(70)}$  – среднее значение эффективной дозы, ожидаемой за 70 лет.

Предел  $E$  от поступления радионуклидов в организм, ожидаемой за 70 лет, для населения составляет 70 мЗв, согласно [5]. Годовое значение  $E_{\text{макс}}$ , полученное при расчетах, составило 10% от эффективной дозы для населения за год. Значение  $E_{\text{макс}(70)}$  составляет не более 3% от эффективной дозы для населения, ожидаемой за 70 лет.

#### Выводы

Вклад  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку для персонала (ингаляционное поступление), при работе на площадке «Дегелен», где отмечены максимальные значения  $^3\text{H}$  в воздухе на территории СИП, составил для персонала порядка 1%. Полученное значение показывает, что вклад  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку персонала при поступлении его с воздухом на территории СИП является незначительным и его можно не учитывать при про-

ведении оценки доз на остальных территориях СИП.

Вклад  $^3\text{H}$  в дозовую нагрузку для населения составляет 10%. Необходимо отметить, что значение  $E$  для населения (0,1 мЗв) попадает в диапазон уровня исследования при локальных загрязнениях (0,01–0,3 мЗв/год). При достижении данного уровня радиационного воздействия требуется выполнить исследование источника ионизирующего излучения с целью уточнения оценки величины годовой эффективной дозы и определения величины дозы, ожидаемой за 70 лет. В связи с этим рассчитана  $E$ , ожидаемая за 70 лет.

Годовое значение  $E_{\text{макс}}$ , полученное при расчетах, составило 10% от эффективной дозы для населения за год. Значение  $E_{\text{макс}(70)}$  составляет не более 3% от эффективной дозы для населения, ожидаемой за 70 лет.

Проведенное исследование показало, что значения объемной активности НТО и НТ в воздухе на всех участках исследования не превысили значения допустимой объемной активности  $^3\text{H}$  во вдыхаемом воздухе для населения, которое составляет 1900 Бк/м<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка современных методов определения содержания некоторых дозообразующих радионуклидов ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{151}\text{Sm}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ) в объектах окружающей среды, технологических продуктах, выбросах и сбросах объектов ядерно-энергетической отрасли: отчет о НИР (промежут.) : 055 / Институт радиационной безопасности и экологии; рук. Лукашенко С. Н.; исполн.: Ляхова О. Н., Самойлов И. В. [и др.] – Курчатов, 2013. – 56 с. – Библиогр.: с.44. – № ГР 0112РК02597. – Инв. № 0213РК03165.
2. Тритий – это опасно / под. ред. В. А. Батурина // Челябинск – 2001. – 58 с. – URL: <https://explodder.info/book/chem/Тритий.pdf>. – Текст электронный.
3. Барчуков В.Г. Распространение трития и его соединений воздушным путем при нормальных условиях эксплуатации Балаковской АЭС / В.Г. Барчуков, О.А. Кочетков, Г.В. Фомин, Д.И. Кабанов, Е.А. Иванов // АНРИ. – 2016. – № 1. – С. 49–54. – Библиогр.: с. 54.
4. Ляхова О.Н. К вопросу о путях миграции трития за пределы бывшей испытательной площадки «Дегелен» / О.Н. Ляхова, Н.В. Ларионова, С.Н. Лукашенко, А.О. Айдарханов, Е.В. Спирин // Бюлл. Нац. радиационно-эпидемиологического регистра. Радиация и риск. – 2014. – Том 23. – № 1. – С. 97–105. – Библиогр.: с. 104.
5. Гигиенические нормативы [Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности]: [Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 155] / М-во юстиции РК.
6. МУ 2.6.1.15-02. Тритий и его соединения. Контроль величины индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении в организм человека. – Введ. 2002-04-16. – М.: Минатом России, Минздрав России, 2004.

#### СЕМЕЙ СЫНАҚ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНДА $^3\text{H}$ АУАМЕН ТҮСКЕН КЕЗДЕГІ ПЕРСОНАЛ МЕН ТҮРҒЫНДАРҒА ТҮСЕТІН ДОЗАЛЫҚ ЖҮКТЕМЕДЕГІ ҮЛЕСІН АНЫҚТАУ

О.О. Марченко, О.Н. Ляхова, Л.В. Тимонова

*ҚР ҰЯО РМК «Радиациялық қауіпсіздік және экология институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

Жұмыста Семей сынақ полигонының (ССП) «Дегелен» алаңындағы штольнялардың орналасқан жерлеріндегі атмосфералық ауадағы тритийдің ( $^3\text{H}$ ) құрамы бойынша деректер берілген. Тритийленген су (НТО) мен газтәрізді қосылулардың (НТ) «Дегелен» алаңы аумағының ауа ортасында да және оның шегінен тыс жерлердегі ауа ортасында да бар екендігі белгіленді.

Алынған деректердің негізінде «Дегелен» алаңы үлгісінде ауамен түсу кезіндегі персонал мен тұрғындарға түсетін дозалық жүктемедегі  $^3\text{H}$  үлесі анықталды. Ауадағы  $^3\text{H}$  шоғырлануы максималды жерлерде жұмыстар жүргізген кезде персоналға түсетін (ингаляциялық түсу) дозалық жүктемедегі  $^3\text{H}$  үлесі 1% аспайтынды құрайтыны анықталды. «Дегелен» алаңынан тыс суда және ауада  $^3\text{H}$  жоғары шоғырлануы бар ағынсулар орналасқан жерлерде шаруашылық қызметін жүргізген жағдайда  $^3\text{H}$  тұрғындарға түсетін дозалық жүктемедегі үлесі шамамен 10% құрайды.

**DETERMINING CONTRIBUTION OF  $^3\text{H}$  TO RADIATION EXPOSURE OF POPULATION AND  
PERSONNEL WHEN ENTERING WITH AIR AT THE TERRITORY OF SEMIPALATINSK TEST SITE**

**O.O. Marchenko, O.N. Lyakhova, L.V. Timonova**

*Branch "Institute of Radiation Safety and Ecology" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper provides tritium ( $^3\text{H}$ ) concentrations in atmospheric air in the venues of tunnels at the «Degelen» testing site of Semipalatinsk Test Site (the STS). Tritiated water (HTO) and gaseous tritium compounds (HT) in air environment were registered in air environment both at the «Degelen» testing site and beyond its boundaries.

Based on the data obtained, contribution of  $^3\text{H}$  entering with air into radiation exposure of personnel and population was determined through the example of the «Degelen» testing site. It was found, that contribution of  $^3\text{H}$  to radiation exposure of the personnel (inhalational intake), carrying out works in the venues with the maximum concentration of  $^3\text{H}$  in the air does not exceed 1%. Contribution of  $^3\text{H}$  to the radiation exposure of population, performing economic activities beyond the «Degelen» site, in the venues of streamflows with high concentration of  $^3\text{H}$  in water and in air will be approximately 10%.