

## Тритий в моче у жителей города Озерска Челябинской области в 2016 г.

Л.В. Финашов, В.В. Востротин, А.Ю. Янов

Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озерск, Россия

*Цели. Создать модель зависимости объёмной активности трития в моче жителей города Озерска от физических и биологических факторов. Определить соответствие доз внутреннего облучения населения города Озерска от трития нормам и требованиям к обеспечению радиационной безопасности в современных условиях. В рамках поставленных целей решались следующие задачи: проведение измерений объёмной активности трития в моче; выявление основных факторов, влияющих на объёмную активность трития в моче; оценка распределения ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения, обусловленных поступлением трития в 2016 г. у населения г. Озерска в условиях стабильной радиационной обстановки. Материалы и методы. В 2016 г. взято 30 проб мочи жителей города Озерска Челябинской области, не работающих на производственном объединении «Маяк». Измерение объёмной активности трития в моче проводилось с помощью современного ультранизкофонного бета-спектрометра Quantulus-1220. Была составлена анкета, позволившая собрать индивидуальные данные о питьевом поведении, профессиональной деятельности, условиях проживания обследуемых людей. Статистическая обработка была проведена с помощью программного обеспечения Excel-2013 и R. Для построения моделей зависимости объёмной активности трития в моче жителей от непрерывных и/или категориальных переменных использовались корреляционный и регрессионный методы анализа. Для сравнения двух выборок по среднему значению объёмной активности трития использовался *t*-критерий Стьюдента. Для проверки нормальности распределения доз использовался критерий Шапиро – Уилка. Результаты. Объёмная активность трития в моче взрослых жителей города Озерска в 2016 г. была в среднем на уровне  $18,5 \pm 1,1$  Бк/дм<sup>3</sup>, а объёмная активность трития в моче детей – в среднем на уровне  $12,6 \pm 2,3$  Бк/дм<sup>3</sup>. Основные статистические характеристики оценок ожидаемой эффективной дозы от трития населения г. Озерск, обусловленные поступлением в 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки, полученные на выборке 30 человек, были следующие: минимальное значение 0,07 мкЗв, среднее значение 0,27 мкЗв, коэффициент вариации 36%, максимальное значение 0,49 мкЗв. Получена модель зависимости уровней объёмной активности трития в моче жителей города Озерска от источника водоснабжения. Выводы. Оценки ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения тритием населения г. Озерска, обусловленные поступлением в 2016 г., составляли: среднее значение ожидаемой эффективной дозы 0,027%, а максимальное значение – 0,05% от предела годовой эффективной дозы для населения в условиях монофакторного поступления трития. В 2016 г. уровни объёмной активности трития в организме взрослого и детского населения города Озерска в большей степени зависели от объёмной активности трития в источниках питьевого водоснабжения, а не от возраста. По состоянию на 2016 г., в условиях стабильной радиационной обстановки на производственном объединении «Маяк» тритий не представлял угрозы для населения города Озерска.*

**Ключевые слова:** тритий, внутреннее облучение, объёмная активность, население, ожидаемая эффективная доза, радиационная безопасность, производственное объединение «Маяк».

### Введение

Одним из инструментов обеспечения радиационной безопасности населения является регулярный мониторинг радиационной обстановки вблизи предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики.

По результатам мониторинга, представленного в отчётах НПО «Тайфун» Росгидромета [1–7], производственное объединение «Маяк» (ПО «Маяк») входит в группу предприятий ГК «Росатом» с максимальными выбросами трития в воздушную сферу и сбросами трития в гидро-

**Финашов Леонид Викторович**

Южно-Уральский институт биофизики

Адрес для переписки: 456780, Россия, Челябинская область, г. Озёрск, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: finashov@subi.su

сферу. Данный факт обусловлен наличием в составе ПО «Маяк» радиохимического производства по регенерации отработанного ядерного топлива с различных атомных электростанций и энергетических установок, действовавших промышленных реакторов, в том числе тяжело-водных и тритиевого производства.

В 2014–2017 гг. мощность выброса трития ПО «Маяк» в воздух была стабильна и находилась на уровне ~ 1200 ТБк/год, при этом по регламенту она составляла 17 600 ТБк/год. Таким образом, мощность выбросов трития была меньше регламентированной на порядок величины [1–4]. В течение 2007–2009 гг. мощность сбросов трития в гидросферу была в среднем на уровне ~17 ТБк/год [5–7]. Регламента мощности сбросов трития в гидросферу для ПО «Маяк» не установлено.

На 63-й сессии Научного комитета по действию атомной радиации Организации Объединённых Наций (НКДАР ООН) в документе R.715 «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов» предложен подход к мониторингу трития в объектах окружающей среды вблизи предприятий, производящих выбросы и сбросы, а также мониторинг трития у отдельных индивидуумов, проживающих на этих территориях. Помимо этого, указана необходимость определять уровни трития на территориях, удаленных от таких предприятий. Проведенные исследования показывают зависимость содержания трития в природных объектах [8–12] и мощности эквивалентной дозы (на всё тело) внутреннего облучения у населения [13] от расстояния до источника выбросов и сбросов трития. В документе R.715 «Биологические эффекты облучения от отдельных инкорпорированных радионуклидов», рассмотренном на 63-й сессии НКДАР ООН, отмечены проблемы, связанные с надежностью эпидемиологических исследований, которые обусловлены недостаточной статистической мощностью и отсутствием информации о дозах облучения от трития [14]. Исходя из вышеизложенного следует, что регулярный мониторинг уровней трития вблизи предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики является актуальной задачей обеспечения радиационной безопасности населения.

**Цель исследования** – создание модели зависимости объёмной активности (ОА) трития в моче жителей г. Озерска от физических и биологических факторов и определение соответствия доз внутреннего облучения населения от трития нормам и требованиям к обеспечению радиационной безопасности в современных условиях.

### Задачи исследования

1. Проведение измерений ОА трития в моче отдельных лиц из населения г. Озерска Челябинской области.
2. Выявление основных факторов, влияющих на ОА трития в моче жителей г. Озерска Челябинской области.
3. Оценка распределения ожидаемых эффективных доз (ОЭД) внутреннего облучения, обусловленных поступлением трития в 2016 г. у населения г. Озерска в условиях стабильной радиационной обстановки.

### Материалы и методы

В исследовании приняли участие 30 жителей г. Озерска Челябинской области, из них 22 взрослых, в

возрасте от 27 до 75 лет, профессионально не связанных с ПО «Маяк», и 8 детей в возрасте от 6 до 15 лет. Каждым участником исследования или его официальным представителем было подписано информированное согласие на участие в проводимом исследовании, а также согласие на обработку персональных данных. Для измерения объёмной активности трития в моче были однократно отобраны утренние порции мочи в индивидуальные стерильные полипропиленовые контейнеры с завинчивающейся крышкой вместимостью 120 мл.

Измерения ОА трития в моче были проведены в соответствии с методикой измерений (МИ) (Методика выполнения измерения объёмной активности трития в пробах воды и мочи с использованием жидко-сцинтилляционного спектрометра Quantulus-1220; ФГУП «Южно-Уральский институт биофизики». – Озерск, 2016.), свидетельство об аттестации МИ № 222.0032/RA.RU.311866/2019 [Methods for measuring the volume activity of tritium in water and urine samples using a Quantulus-1220 liquid scintillation spectrometer; Federal State Unitary Enterprise South Ural Institute of Biophysics. Ozersk, 2016.), certificate of certification No. 222.0032 / RA.RU.311866 / 2019 (In Russ.)]. В соответствии с МИ предел обнаружения ОА трития в моче был равен 8 Бк/дм<sup>3</sup>. Эффективности регистрации спектрометром β-излучения трития  $\epsilon_j = 0,27$  Бк<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup>. Среднее арифметическое значение скорости счета фона спектрометра  $\bar{n}_\phi = 2,8$  мин<sup>-1</sup> (срп). Относительная погрешность при P=0,95 в зависимости от уровня ОА составляла: от 8 до 50 Бк/дм<sup>3</sup> – 40%, от 50 до 200 Бк/дм<sup>3</sup> – 18%, от 200 до 1,2·10<sup>7</sup> Бк/дм<sup>3</sup> – 11%. Пробоподготовка образцов мочи заключалась в проведении дистилляции при температуре 97–99 °С. После охлаждения полученного дистиллята он смешивался со сцинтиллятором Optiphase Hisafe 3 в пластиковой вials в пропорции 8 мл : 12 мл. Измерение ОА трития проводилось в течение 6 ч с помощью ультранизкофонного жидкостно-сцинтилляционного спектрометра Quantulus-1220. Перед измерением образцы охлаждали не менее 12 ч в корпусе Quantulus-1220 с заданной температурой 18°С.

Для сбора данных о возможных факторах, предположительно влияющих на уровни ОА трития в моче людей, было проведено анкетирование. Анкета включала в себя следующие вопросы: пол, возраст, место работы (учёбы), адрес постоянного места жительства, источник питьевого водоснабжения. В качестве категорий источников питьевого водоснабжения были выбраны: только «вода водопроводная» и «вода водопроводная с дополнительными иными источниками» (вода бутилированная и пр.).

Для расчёта расстояния от ПО «Маяк» до места работы (учёбы) и постоянного места жительства участников исследования была использована точка отсчёта – широта 55,688<sup>0</sup>, долгота 60,762<sup>0</sup> (wikimapia.org/#lang=ru&lat=55.688&lon=60.762&z=13&m=w&show=/8566136/ru/ФГУП-„ПО-«Маяк»»). Диапазон расстояний от ПО «Маяк» до места работы (учёбы) и постоянного местожительства участников исследования был от 5,7 до 9,5 км.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения Excel-2013 и программы статистического анализа R версии 3.3.3 («Another Sapoe»). Для построения корреляционных матриц с ошибками I рода использовалась библиотека «Hmisc». Для построения модели зависимости ОА трития в моче

населения от физических и биологических факторов использовался регрессионный метод анализа. При этом для учёта точности результатов измерения использовали вес, обратно пропорциональный квадрату их абсолютной погрешности при  $P=0,68$ . Для сравнения двух выборок по среднему значению ОА использовался t-критерий Стьюдента. Для проверки нормальности распределения доз использовался критерий Шапиро – Уилка.

### Результаты и обсуждение

По результатам корреляционного анализа были выявлены два фактора, статистически значимо влияющие на уровень ОА трития в моче жителей г. Озерска: воз-

раст и источник питьевого водоснабжения. Остальные факторы: пол, расстояния от ПО «Маяк» до места работы (учёбы) и постоянного места жительства, не оказывали статистически значимого влияния.

Из анализа результатов измерения ОА трития в моче жителей г. Озерска, профессионально не связанных с ПО «Маяк», и детей было установлено, что уровень ОА трития в моче взрослого населения в 2016 г. был в среднем выше, чем в моче детей ( $t=2,3$ ,  $p=0,044$ ) (табл. 1).

Проведенный линейный регрессионный анализ (рис. 1) показал статистически значимую слабую связь ( $R = 0,34$ ;  $p=0,038$ ) между возрастом и ОА трития в моче населения г. Озерска, выраженную в виде:

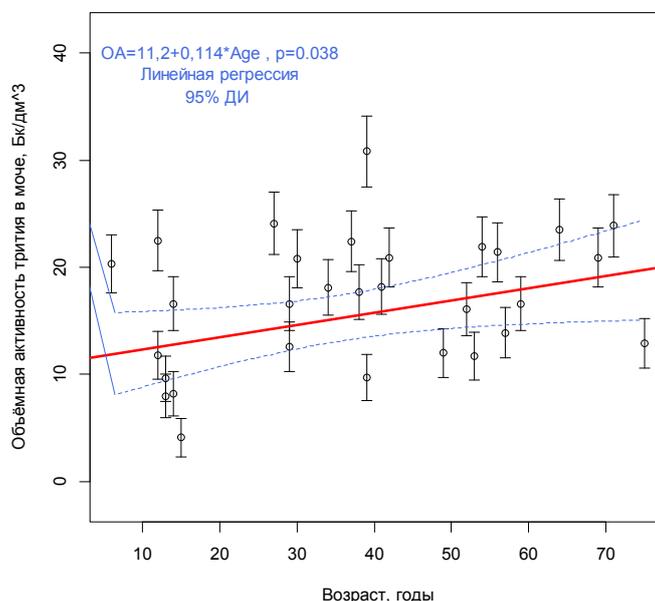
Таблица 1

Результаты измерения ОА трития в моче жителей г. Озерска, проведённого в 2016 г.

[Table 1

Results of measurement of tritium volume activity in urine of the Ozyorsk residents, 2016]

Обследованный контингент [Population under study]	Число обследованных [Number of individuals under study]	Средняя ОА трития в моче, Бк/дм <sup>3</sup> (± стандартная ошибка среднего) [Mean tritium volume activity in urine, Bq/dm <sup>3</sup> (± standard error of the mean)]
Дети (6–15 лет) [Children (6–15 years)]	8	12,6 ± 2,3
Взрослые (27–75 лет) [Adult (27–75 years)]	22	18,5 ± 1,1



**Рис. 1.** Результаты линейного регрессионного анализа зависимости ОА трития в моче населения города Озерска в 2016 г. от возраста. Представлена линия линейной регрессии с 95% доверительным интервалом (ДИ).

Усы на точках соответствуют абсолютным погрешностям результатов измерения ОА трития в моче при  $P=0,68$

**[Fig. 1.** Results of linear regression analysis of dependence of volume activity of tritium in urine of Ozyorsk residents in 2016 from age.

Note: a linear regression line is presented with a 95 confidence interval (CI). Error bars at the points refer to absolute bias of results of tritium volume activity measurement in urine at  $P=0,68$ ]

OA = (11,2 ± 2,2) + (0,114±0,052) · Age, Бк/дм<sup>3</sup>, где: Age – возраст в годах [age in years]. Единственный результат измерения ОА трития в моче, оказавшийся ниже предела обнаружения, обрабатывался как предварительный согласно Гост Р 572016-2016 (Национальный Стандарт Российской Федерации. Радиационный контроль. Представление Результатов Измерения.) [GOST R 572016-2016. National Standard of the Russian Federation. Radiation control. Presentation of Measurement Results (In Russian)].

При включении в анализ зависимости ОА трития в моче обоих факторов: возраста и источника водоснабжения (ИБ), по категориям – только водопроводная вода (ИБ=1) или другие источники (ИБ=2), была построена следующая модель:

$$OA = \begin{cases} a_1, & \text{если ИБ} = 1 \\ a_2, & \text{если ИБ} = 2 \end{cases} + b \cdot Age, \text{ Бк/дм}^3 \text{ (1)}$$

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от возраста и источника водоснабжения приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что возраст при учёте источника водоснабжения не оказывал статистически значимого влияния на ОА трития в моче населения г. Озерска (p=0,94). После исключения из модели фактора возраста оставшиеся два параметра модели были уточнены. Модель зависимости ОА трития в моче населения города Озерска была изменена соответственно:

$$OA = \begin{cases} a_1, & \text{если ИБ} = 1 \\ a_2, & \text{если ИБ} = 2 \end{cases}, \text{ Бк/дм}^3 \text{ (2)}$$

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от источника водоснабжения приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 следует, что стандартные ошибки двух параметров модели уменьшились. В особенности уменьшилась стандартная ошибка (в ~ 2,5 раза) параметра α<sub>1</sub>, соответствующего источнику водоснабжения «только вода водопроводная».

Более высокие уровни ОА трития в моче наблюдались у людей, использующих для пищевых нужд только воду из основного источника водоснабжения г. Озерска – озера Иртяш. Из анкет было выяснено, что дети для пищевых нужд использовали в основном привозную бутилированную воду. Распределение выборки по возрасту и источникам водоснабжения, представленное в таблице 4, объясняет более низкий уровень ОА трития в моче у детей в сравнении со взрослым населением, а также выявленную линейную зависимость ОА трития от возраста (см. рис. 1).

Сопоставимые уровни ОА трития в моче людей и уровни ОА трития в питьевой воде были выявлены также и в аналогичных исследованиях, проведённых в зоне действия Белоярской атомной станции [15].

Таблица 2

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от возраста и источника водоснабжения

[Table 2]

Numerical values of parameters of the model of dependence of tritium volume activity in urine of Ozyorsk residents from age and water supply source]

Параметр модели [Model parameters]	Размерность [Unit of measurement]	Значение [Value]	Стандартная ошибка [Standard error]	p
b	(Бк/дм <sup>3</sup> )/год (Bq/dm <sup>3</sup> )/year	3,9e-3	5,5e-2	0,94
α <sub>1</sub>	Бк/дм <sup>3</sup> Bq/dm <sup>3</sup>	17,9	2,7	4,3e-7
α <sub>2</sub>	Бк/дм <sup>3</sup> Bq/dm <sup>3</sup>	10,0	1,9	1,3e-5

Таблица 3

Численные значения параметров модели зависимости ОА трития в моче населения г. Озерска от источника водоснабжения

[Table 3]

Numerical values of parameters of the model of dependence of tritium volume activity in urine of Ozyorsk residents from water supply source]

Параметр модели [Model parameters]	Размерность [Unit of measurement]	Значение [Value]	Стандартная ошибка [Standard error]	p
α <sub>1</sub>	Бк/дм <sup>3</sup>	18,1	1,1	4,5e-16
α <sub>2</sub>	Bq/dm <sup>3</sup>	10,1	1,5	2,5e-7

Таблица 4  
Распределение детей и взрослых по источникам водоснабжения

[Table 4]

Обследованный контингент [Population under study]	ИВ=1, «только вода водопроводная» [Water supply=1 city water only]	ИВ=2, «другие источники, в том числе смешанные» [Water supply=2, other sources included combined]
Дети (6–15 лет) [Children (6–15 years)]	3	5
Взрослые (27–75 лет) [Adults (27–75 years)]	19	3

Анализ измерений показал, что в воде озера Иртяш, являющегося основным источником водоснабжения (ИВ=1, «только вода водопроводная») населения г. Озерска, ОА трития с 2014 г. по 2018 г. изменялась в пределах 25–35 Бк/дм<sup>3</sup>, что на 2 порядка ниже уровня вмешательства, равного, согласно Нормам радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [SanPiN 2.6.1.2523-09. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009): Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy*] [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiological Rules and Norms]. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russ.)], 7600 Бк/дм<sup>3</sup> (при плотности воды 1 кг/дм<sup>3</sup>). В бутилированной воде различных производителей, которые были отмечены в анкетах населения г. Озерска, ОА трития была менее 8 Бк/дм<sup>3</sup>. Более низкий уровень ОА трития в моче группы жителей г. Озерска, использующих «только воду водопроводную» в сравнении с уровнем ОА трития в воде озера Иртяш (18 Бк/дм<sup>3</sup> против 30 Бк/дм<sup>3</sup>) может быть объяснена дополнительным поступлением в организм жителей пищи

из продуктов, произведённых в зоне отсутствия влияния ПО «Маяк». Ориентировочная зона влияния ПО «Маяк» на окружающую среду в 2016 г. составляла ~30 км [10].

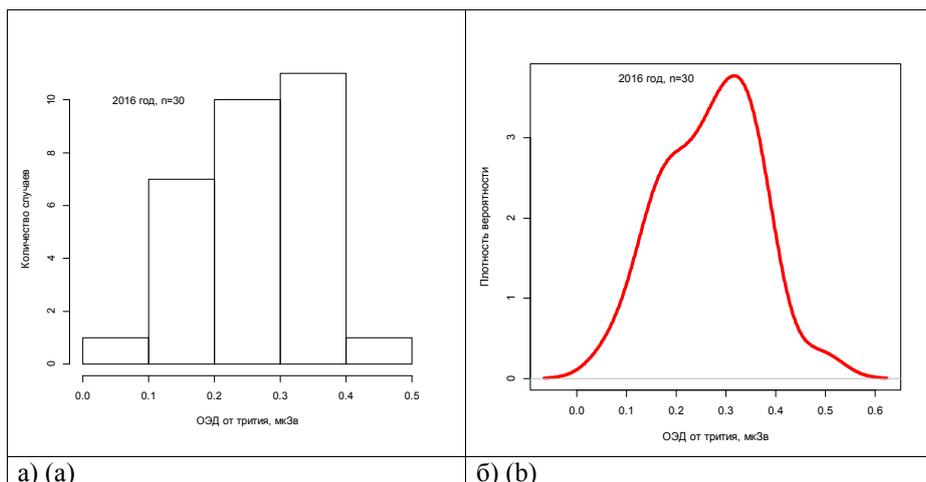
Современные Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiological Rules and Norms. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russian)] устанавливают основные пределы доз, допустимые уровни воздействия ионизирующего излучения по ограничению облучения населения. Для индивидуальной оценки ОЭД от трития, обусловленных поступлением в 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки на ПО «Маяк», использовалось соотношение:

$$E(70) = OA \times K_{OA \rightarrow E^*} \text{ мкЗв (3)}$$

где: ОА – объёмная активность трития в моче,  $K_{OA \rightarrow E}$  – коэффициент перехода от объёмной активности к ОЭД, [Where: VA is volume activity of tritium in urine, Bq/dm<sup>3</sup> [ $K_{VA \rightarrow E}$  – coefficient of transportation from volume activity to committed effective dose equivalent (CEDE),  $\mu\text{Sv (Bq/dm}^3\text{)}$ ].

Для различных возрастных групп населения были применены следующие коэффициенты: 0,016 мкЗв/(Бк/дм<sup>3</sup>) для взрослых и подростков от 12 до 17 лет и 0,015 мкЗв/(Бк/дм<sup>3</sup>) для детей от 7 до 12 лет (Методические указания по методам контроля ФМБА России МУК 2.6.1.XXX-20XX. Методика выполнения расчетов доз облучения населения, проживающего в зоне влияния предприятия по утилизации ядерных боеприпасов. М., 2013. 26 с.) [Guidelines for control methods FMBA Russia 2.6.1.XXX-20XX. Methods for performing calculations of doses of irradiation of population living in the area of influence of the enterprise for utilization of nuclear ammunition. Moscow, 2013, 26 p. (In Russian)].

Гистограмма распределения и оценка плотности вероятности распределения жителей г. Озерска по оценкам ОЭД внутреннего облучения от трития, обусловленного поступлением в 2016 г., рассчитаны по методу KDE (Kernel Density Estimation) [16], показаны на рисунке 2.



**Рис. 2.** Гистограмма распределения (а) и оценка плотности вероятности распределения жителей (б) г. Озерска по оценкам ОЭД внутреннего облучения от трития, обусловленных поступлением в 2016 г.: а) ось X – ожидаемая эффективная доза от трития (мкЗв); ось Y – количество случаев; б) – ось X – ожидаемая эффективная доза от трития (мкЗв); ось Y – плотность вероятности

**[Fig. 2.** Distribution histogram (a) and estimation of the probability density of the distribution of residents (b) of the city of Ozersk, according to the CEDE estimates of internal irradiation from tritium due to admission in 2016

Note (a): X – axis is committed effective dose equivalent from tritium ( $\mu\text{Sv}$ ); Y – axis is number of cases  
Note (b): X – axis is committed effective dose equivalent from tritium ( $\mu\text{Sv}$ ); Y – axis is probability density]

Колоколообразный вид распределения указывал на вероятное отсутствие статистически значимого различия между найденным распределением и нормальным распределением, что было подтверждено с помощью теста (критерия) Шапиро – Уилка ( $W=0,97$ ,  $p=0,61$ ).

Основные статистические характеристики оценок годовых ОЭД от трития населения г. Озерска, обусловленные поступлением в 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки, полученные на выборке 30 человек, были следующие: минимальное значение 0,07 мкЗв, среднее значение 0,27 мкЗв, коэффициент вариации 36%, максимальное значение 0,49 мкЗв. Таким образом, среднее значение ОЭД составляло 0,027%, а максимальное значение – 0,05% от предела годовой эффективной дозы для населения в условиях монофакторного поступления трития, равного 1 мЗв, согласно современным нормам радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523 – 09) [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary-Epidemiological Rules and Norms. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology Publ., 2009, 100 p. (In Russ.)].

### Заключение

В 2016 г. уровни ОА трития у взрослого и детского населения в большей степени зависели от ОА трития в источниках питьевого водоснабжения, а не от возраста.

Распределение жителей г. Озерска по оценкам ОЭД внутреннего облучения тритием, обусловленного поступлением в 2016 г., статистически значимо не отличалось от нормального закона распределения. Оценки ОЭД внутреннего облучения тритием населения г. Озерска, обусловленные поступлением в 2016 г., составляли: среднее значение ОЭД 0,027%, а максимальное значение – 0,05% от предела годовой эффективной дозы для населения в условиях монофакторного поступления трития.

По состоянию на 2016 г. в условиях стабильной радиационной обстановки на ПО «Маяк» тритий не представлял опасности для населения г. Озерска.

### Финансирование

*Работа выполнена в рамках Государственного Контракта №17734521419170000340/11.311.17.10 от 14 июня 2017 г. «Анализ радиационного риска и медико-дозиметрическое сопровождение при работе с соединениями трития» шифр «Элемент-17», финансируемого ФМБА России.*

### Литература

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2014 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2015. – 350 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/a5f/ezhegodnik\\_ro\\_2014.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/a5f/ezhegodnik_ro_2014.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
2. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2016. – 348 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik\\_2015.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik_2015.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2016 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2017. – 397 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/130/ezhegodnik\\_ro\\_2016.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/130/ezhegodnik_ro_2016.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
4. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2018. – 360 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik\\_ro\\_2017.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik_ro_2017.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
5. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2007 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2008. – 285 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik\\_\\_2007.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik__2007.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2009. – 297 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/add/ezhegodnik\\_ro\\_2008.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/add/ezhegodnik_ro_2008.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
7. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2009 году. Ежегодник. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун». – Обнинск, 2010. – 316 с.: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik\\_ro\\_2009.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik_ro_2009.pdf) (дата обращения: 14.05.2019)
8. Телушкина, Е.Л. Гигиеническая оценка радиационной обстановки в районе расположения одного из предприятий, обусловленной удалением трития в окружающую среду / Е.Л. Телушкина, И.А. Сулла, В.И. Матюнин // Бюллетень радиационной медицины. – 1975. – №1. – С. 27 – 33.
9. Масловский, Р.Я. Гигиеническая оценка загрязненности радиоактивными аэрозолями и тритием атмосферного воздуха населенных пунктов в районе предприятия атомной промышленности / Р.Я. Масловский, Л.М. Щербакова, С.Н. Демин // Бюллетень радиационной медицины. – 1979. – №2. – С. 59 – 64.
10. Востротин, В.В. Накопление трития в снежном покрове зоны влияния ПО «Маяк» за осенне-зимний сезон 2015–2016 гг. / В.В. Востротин, А.Ю. Янов, Л.В. Финашов // Вопр. радиац. безопасности. – 2017. – № 3 (87). – С. 63–67.: [https://www.researchgate.net/publication/321050220\\_Accumulation\\_of\\_Tritium\\_in\\_the\\_Snow\\_Cover\\_in\\_the\\_Mayak\\_PA\\_Affected\\_Area\\_During\\_the\\_Autumn\\_and\\_Winter\\_Season\\_2015-2016\\_NAKOPLENIE\\_TRITIA\\_V\\_SNEZNOM\\_POKROVE\\_ZONY\\_VLIANIA\\_PO\\_MAAK\\_ZA\\_OSENNE-ZIMNIJ\\_SEZON\\_20](https://www.researchgate.net/publication/321050220_Accumulation_of_Tritium_in_the_Snow_Cover_in_the_Mayak_PA_Affected_Area_During_the_Autumn_and_Winter_Season_2015-2016_NAKOPLENIE_TRITIA_V_SNEZNOM_POKROVE_ZONY_VLIANIA_PO_MAAK_ZA_OSENNE-ZIMNIJ_SEZON_20) (дата обращения: 14.05.2019)
11. Чеботина, М.Я. Поступление трития на земную поверхность с дождевыми осадками / М.Я. Чеботина, О.А. Николин, Е.Л. Мурашова // Водн. хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 5. – С. 77–87: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18019244> (дата обращения: 14.05.2019).
12. Чеботина, М.Я. Тритий в снеговом покрове в зонах воздействия предприятий ядерно-топливного цикла на Урале / М.Я. Чеботина, О.А. Николин, А.И. Смагин // Водн. хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2014. – № 2. – С. 102–113: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21467267> (дата обращения: 14.05.2019).
13. Телушкина, Е.Л. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия / Е.Л. Телушкина, С.Н. Демин // Бюл. радиац. мед. – 1987. – № 1. – С. 23 – 28.

14. Уйба, В.В. Итоги 63-й сессии Научного Комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН (Вена, 27 июня – 1 июля 2016 г.) / В.В. Уйба, А.В. Аклеев, Т.В. Азизова [и др.] // Мед. радиология и радиац. безопасность. – 2016. – Т. 61, № 5. – С. 69–79: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27319236> (дата обращения: 14.05.2019).
15. Чеботина, М.Я. Тритий в моче людей в зоне влияния Белоярской АЭС / М.Я. Чеботина, О.А. Николин, Л.Г. Бондарева, В.Н. Ракитский // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 87–92: DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-87-92 [https://www.researchgate.net/publication/312378953\\_TRITIUM\\_IN\\_URINE\\_OF\\_PEOPLE\\_LIVING\\_IN\\_THE\\_AREA\\_OF\\_INFLUENCE\\_OF\\_THE\\_BELOYARSKAYA\\_NPP](https://www.researchgate.net/publication/312378953_TRITIUM_IN_URINE_OF_PEOPLE_LIVING_IN_THE_AREA_OF_INFLUENCE_OF_THE_BELOYARSKAYA_NPP) (дата обращения: 14.05.2019).
16. Scott D.W. Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization. 2nd Edition. Wiley, 2015, 384 p., ISBN: 0471697559.

Поступила: 14.05.2019 г.

**Финашов Леонид Викторович** – младший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России. **Адрес для переписки:** 456780, Россия, Челябинская область, г. Озёрск, Озёрское шоссе, д. 19; E-mail: finashov@subi.su

**Востротин Вадим Владимирович** – кандидат биологических наук; заведующий лабораторией радиационной безопасности Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

**Янов Александр Юрьевич** – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности Южно-Уральского института биофизики Федерального медико-биологического агентства России, Озёрск, Россия

**Для цитирования:** Финашов Л.В., Востротин В.В., Янов А.Ю. Тритий в моче у жителей города Озерска Челябинской области в 2016 г. // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 42-49. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-42-49

## Tritium in urine in residents of Ozyorsk, the Chelyabinsk region in 2016

Leonid V. Finashov, Vadim V. Vostrotin, Aleksandr Yu. Yanov

Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

*Objectives. To create the model of relation between volume activity of tritium in urine of Ozyorsk residents and physical and biological factors. To define the correspondence of internal exposure doses of Ozyorsk residents obtained from tritium to standards and requirements of present-day radiation security system. In the framework of the objectives the following tasks were solved: measurement of volume activity of tritium in the urine; detection of main factors affecting the volume activity of tritium in the urine; estimation of the distribution of committed effective dose equivalent of internal exposure due to tritium intake in 2016 among Ozyorsk residents under stable radiation environment. Material and methods. 30 samples of urine were taken from resident of Ozyorsk Chelyabinsk region never employed at the Mayak Production Association in 2016. Measurement of tritium volume activity in the urine was performed using up-to-date ultra low level beta spectrometer Quantulus-1220. A questionnaire was developed that allowed collection of individual data on the water intake regime, on the occupational activity and the living conditions of people under study. Statistical processing was performed using software Excel-2013 and R. In order to develop models of dependency of tritium volume activity in urine of the residents from continuous and/or category variables we used correlation and regression methods of analysis. In order to compare two samples by mean value of tritium volume activity Student t-criterion was used. In order to verify normality of dose distribution Shapiro-Wilk test was used. Results. Volume activity of tritium in urine of adult Ozyorsk residents in 2016 was in average  $18.5 \pm 1.1$  Bq/dm<sup>3</sup>, volume activity of tritium in urine of children –  $12.6 \pm 2.3$  Bq/dm<sup>3</sup> in average. Major statistical characteristics of estimates of committed effective dose equivalent from tritium in Ozyorsk residents due to intake on 2016 under stable radiation environment obtained from a sample of 30 individuals were the following: minimum value made 0.07 μSv, mean value was 0.27 μSv, coefficient of variation made 36%, maximum value made 0.49 μSv. A model of dependence of tritium volume activity in urine of Ozyorsk residents from the water supply source was obtained. Conclusions. Estimates of committed effective dose equivalent of internal exposure from tritium among Ozyorsk residents due to intake in 2016 made: mean value of committed effective dose equivalent was 0.027 and maximum value made 0.05% from the annual effective dose limit for residents under unifactor tritium intake. In 2016, the levels of tritium volume activity in the bodies of adult and children population of Ozyorsk city depended on volume activity of tritium in drinking water supply sourced more than on the age. As of 2016, under stable radiation environment at Mayak Production Association, tritium did not pose any threat for Ozyorsk population.*

**Key words:** tritium, internal exposure, volume activity, population, committed effective dose equivalent, radiation protection, Mayak Production Association.

**Leonid V. Finashov**

Southern Urals Biophysics Institute

**Address for correspondence:** Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk region, Russia; E-mail: finashov@subi.su

References

1. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2014. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2015, 350 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/a5f/ezhegodnik\\_ro\\_2014.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/a5f/ezhegodnik_ro_2014.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
2. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2015. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2016, 348 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik\\_2015.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e38/ezhegodnik_2015.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
3. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2016. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2017, 397 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/130/ezhegodnik\\_ro\\_2016.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/130/ezhegodnik_ro_2016.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
4. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2017. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2018, 360 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik\\_ro\\_2017.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/1c9/ezhegodnik_ro_2017.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
5. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2007. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2008, 285 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik\\_2007.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ba8/ezhegodnik_2007.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
6. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2008. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2009, 297 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/add/ezhegodnik\\_ro\\_2008.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/add/ezhegodnik_ro_2008.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
7. Radiation environment in Russia and neighboring countries in 2009. Annual. Federal State Budgeted Institution "Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, 2010, 316 p. – Available on: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik\\_ro\\_2009.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/2d0/ezhegodnik_ro_2009.pdf) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
8. Telushkina E.L., Sulla I.A., Matunin V.I. Hygienic assessment of radiation situation in the area close to one of the enterprises due to emission of tritium into the environment. *Byulleten radiatsionnoy meditsiny = Radiation medicine report*, 1975, No.1, pp. 27 – 33. (in Russian)
9. Maslovsky R.Ya., Shcherbakova L.M., Demin S.N. Hygienic assessment of air contamination by radioactive aerosols and tritium in towns in the area of atomic production enterprises. *Byulleten radiatsionnoy meditsiny = Radiation medicine report*, 1979, No.2, pp. 9 – 64. (in Russian)
10. Vostrotin V.V., Yanov A.Yu., Finashov L.V. Accumulation of tritium in snow cover in Mayak PA affected area during autumn and winter season of 2015-2016. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti = Radiation safety issues*, 2017, No.3 (87), pp. 63–67. – Available on: [https://www.researchgate.net/publication/321050220\\_Accumulation\\_of\\_Tritium\\_in\\_the\\_Snow\\_Cover\\_in\\_the\\_Mayak\\_PA\\_Affected\\_Area\\_During\\_the\\_Autumn\\_and\\_Winter\\_Season\\_2015-2016\\_NAKOPLЕНИЕ\\_TRITIUM\\_V\\_SNEZHNOM\\_POKROVE\\_ZONY\\_VLIANIA\\_PO\\_MAAK\\_ZA\\_OSENNE-ZIMNIJ\\_SEZON\\_20](https://www.researchgate.net/publication/321050220_Accumulation_of_Tritium_in_the_Snow_Cover_in_the_Mayak_PA_Affected_Area_During_the_Autumn_and_Winter_Season_2015-2016_NAKOPLЕНИЕ_TRITIUM_V_SNEZHNOM_POKROVE_ZONY_VLIANIA_PO_MAAK_ZA_OSENNE-ZIMNIJ_SEZON_20) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
11. Chebotina M.I., Nikolin O.A., Murashova E.L. Intake of tritium to earth surface through rainfall. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie = Water sector of Russia: problems, technologies, management*, 2012, No. 5, pp. 77-87. – Available on: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18019244> (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
12. Chebotina M.I., Nikolin O.A., Smagin A.I. Tritium in snow cover in affected areas of nuclear-cycle facilities in Urals. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie = Water sector of Russia: problems, technologies, management*. 2014, No. 2, pp. 102-113. – Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21467267> (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
13. Telushkina E.L., Demin S.N. Radiation hygienic assessment of contamination of environment by tritium and dose loads for population in the area of a radiochemical enterprise. *Byulleten radiatsionnoy meditsiny = Radiation medicine report*, 1987, No.1, pp. 23 – 28. (in Russian).
14. Uiba V.V., Akleev A.V., Azizova T.V. [et al.] Results of the 63<sup>rd</sup> session of United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR) (Vienna, June 27 – July 1, 2016). *Medsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2016, V.61, № 5, pp. 69–79. – Available on: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27319236> (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
15. Chebotina M.Ya., Nikolin O.A., Bondareva L.G., Rakitsky V.N. Tritium in urine of people living in the area of influence of the Beloyarskaya NPP. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene*, 2016, Vol.9, No 4, pp.87–92. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-87-92. – Available on: [https://www.researchgate.net/publication/312378953\\_TRITIUM\\_IN\\_URINE\\_OF\\_PEOPLE\\_LIVING\\_IN\\_THE\\_AREA\\_OF\\_INFLUENCE\\_OF\\_THE\\_BELOYARSKAYA\\_NPP](https://www.researchgate.net/publication/312378953_TRITIUM_IN_URINE_OF_PEOPLE_LIVING_IN_THE_AREA_OF_INFLUENCE_OF_THE_BELOYARSKAYA_NPP) (Accessed: 14.05.2019) (in Russian).
16. Scott D.W. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. 2nd Edition. Wiley, 2015, 384 p., ISBN: 0471697559.

Received: May 14, 2019

**For correspondence: Leonid V. Finashov** – Junior scientist, laboratory of the radiation protection of Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia (Ozerskoe shosse, 19, Ozersk, 456780, Chelyabinsk region, Russia; E-mail: [finashov@subi.su](mailto:finashov@subi.su))

**Vadim V. Vostrotin** – PhD, head of the laboratory of the radiation protection of Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

**Aleksandr Yu. Yanov** – PhD, Scientist, laboratory of radiation protection of Southern Urals Biophysics Institute of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Ozyorsk, Russia

**For citation: Finashov L.V., Vostrotin V.V., Yanov A.Yu. Tritium in urine in residents of Ozyorsk, the Chelyabinsk region in 2016. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2019, Vol. 12, No. 3, pp. 42-49. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-42-49**