



Барчуков В.Г.¹, Ушаков И.Б.¹, Мурашова Е.Л.², Максимов А.А.¹, Сибиркин А.В.²,
Кабанов Д.И.¹, Лизунов В.Ю.¹, Польская М.К.¹

Вклад трития в ожидаемую эффективную дозу облучения населения, проживающего в зоне наблюдения ФГУП «ПО "Маяк"»

¹ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства, 123098, Москва, Россия;

²ФГУП «Производственное объединение "Маяк"», 456784, Озёрск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В работе изучен вклад трития в дозу облучения населения, проживающего в зоне наблюдения ФГУП «ПО "Маяк"».

Материалы и методы. Исследовали воду из сети центрального водоснабжения, колодцев, скважин, поверхностных водоёмов, продукты питания местного производства, атмосферный воздух, а также биологический материал (мочу) населения. Пробы газовой среды отбирали с помощью адсорбции влаги на цеолит NaX с последующим выделением влаги методом термовакuumной десорбции, измерение объёмной активности трития в жидких средах осуществляли жидкостным сцинтилляционным методом.

Результаты. Ожидаемая эффективная доза облучения населения в результате поступления трития в организм с питьевой водой и продуктами местного производства составила $0,5 \pm 0,2$ мЗв/год, что совпадает с ожидаемой эффективной дозой, определённой по содержанию трития в организме обследованных лиц. Основное поступление трития ($\approx 65\%$) в организм обусловлено потреблением питьевой воды из местных источников. Вклад трития в суммарную годовую ожидаемую эффективную дозу облучения взрослого населения от основных дозообразующих радионуклидов (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ²³⁹Pu, тритий) составил в среднем 2%.

Ограничения исследования связаны с близким географическим расположением выбранных объектов окружающей среды относительно предприятия, результаты исследования позволяют судить о радиационной обстановке на территории, ограниченной только зоной наблюдения предприятия.

Заключение. Вклад трития в среднегодовую ожидаемую эффективную дозу облучения населения за счёт текущих сбросов и выбросов ФГУП «ПО "Маяк"» составляет 2%, однако он входит в число радионуклидов, определяющих суммарную ожидаемую эффективную дозу облучения населения (не менее 99%), что обуславливает необходимость контроля данного радионуклида в зоне наблюдения предприятия. Особое внимание при этом следует уделять объектам питьевого водоснабжения.

Ключевые слова: тритий; дозообразующие радионуклиды; тритиевое производство; ожидаемая эффективная доза; выбросы; объёмная активность

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов. Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Барчуков В.Г., Ушаков И.Б., Мурашова Е.Л., Максимов А.А., Сибиркин А.В., Кабанов Д.И., Лизунов В.Ю., Польская М.К. Вклад трития в ожидаемую эффективную дозу облучения населения, проживающего в зоне наблюдения ФГУП «ПО "Маяк"». *Гигиена и санитария*. 2026; 105(1): 157–163. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-2-157-163> <https://elibrary.ru/ooidjvp>

Для корреспонденции: Барчуков Валерий Гаврилович, e-mail: barchval@yandex.ru

Вклад авторов: Барчуков В.Г. – концепция и дизайн исследования, структурирование статьи; Ушаков И.Б. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Мурашова Е.Л. – концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, написание текста; Максимов А.А. – обработка данных, написание текста; Сибиркин А.В. – сбор материала и обработка данных; Кабанов Д.И., Лизунов В.Ю. – обработка данных, редактирование; Польская М.К. – обработка данных. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания, тема НИР «Разработка системы контроля содержания трития в различных средах», шифр «Трэк-1», рег. № НИОКТР АААА-А19-119031190033-1.

Поступила: 10.04.2025 / Поступила после доработки: 07.07.2025 / Принята к печати: 02.12.2025 / Опубликована: 13.03.2026

Valery G. Barchukov¹, Igor B. Ushakov¹, Ekaterina L. Murashova², Aleksei A. Maksimov¹,
Aleksandr V. Sibirkin², Dmitry I. Kabanov¹, Vladimir Yu. Lizunov¹, Maria K. Polskaya¹

Contribution of tritium to the committed effective dose to members of the public living in the Mayak PA monitoring area

¹State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation;

²Production Association "Mayak", Ozersk, 456784, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper presents data on the contribution of tritium to the radiation dose to members of the public living in the Mayak PA monitoring area.

Materials and methods. Water from central water supply, wells, boreholes, surface reservoirs, locally produced foodstuffs, atmospheric air, and urine were studied in members of the population. Air sampling was carried out by moisture adsorption on NaX zeolite followed by moisture extraction, measurements of tritium specific activity in liquid media were carried out by the liquid scintillation method.

Results. The annual committed effective dose from tritium intake with drinking water and locally produced foodstuffs was (0.5 ± 0.2) μ Sv/year, which coincides with the annual committed effective dose estimated from tritium content in urine. Consumption of drinking water from local sources was the largest contributor (about 65%) to tritium intake. The contribution of tritium to the total annual committed effective dose to members of the population from the main dose-forming radionuclides was on average 2%.

Limitations are related to the fact that the selected environmental objects are located close to the industrial site, thus the results of the study allow judging the radiation situation only in the area limited by the facility's monitoring area.

Conclusion. Although the contribution of tritium to the committed effective dose to members of the population due to current discharges from the Mayak PA is 2%, tritium is one of the radionuclides that determine the total committed effective dose to the population (at least 99%), which makes it necessary to provide tritium monitoring in the facility's monitoring area. Particular attention should be paid to drinking water supply sources.

Keywords: tritium; dose-forming radionuclides; tritium facility; committed effective dose; discharges; specific activity

Compliance with ethical standards. The study does not require a biomedical ethics committee opinion. All participants gave informed voluntary written consent to participate in the study.

For citation: Barchukov V.G., Ushakov I.B., Murashova E.L., Maksimov A.A., Sibirkin A.V., Kabanov D.I., Lizunov V.Yu., Polskaya M.K. Contribution of tritium to the committed effective dose to members of the public living in the Mayak PA monitoring area. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2026; 105(2): 157–163. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-2-157-163> <https://elibrary.ru/ooodjvp> (In Russ.)

For correspondence: Valery G. Barchukov, e-mail: barchval@yandex.ru

Contribution: Barchukov V.G. – research concept and design, structuring of the article; Ushakov I.B. – research concept and design, editing; Murashova E.L. – research concept and design, material collection and data processing, text writing; Maksimov A.A. – data processing, text writing; Sibirkin A.V. – material collection and data processing; Kabanov D.I., Lizunov V.Yu. – data processing, editing. Polskaya M.K. – data processing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study was carried out as part of the state assignment 'Development of a system for control of tritium content in various media, code "Trek-1", registration number: AAAA-A19-119031190033-1.

Received: April 10, 2025 / Revised: July 7, 2025 / Accepted: December 2, 2025 / Published: March 13, 2026

Введение

Тритий является неотъемлемой частью радионуклидного состава газообразных выбросов предприятий ядерного топливного цикла и благодаря высоким диффузионным и миграционным свойствам практически беспрепятственно проходит через системы очистки. Таким образом, население, проживающее в зоне наблюдения (далее – ЗН) этих предприятий, подвергается непосредственному воздействию за счёт ингаляционного, перорального и перкутанного поступления трития в организм. Имеющиеся литературные данные свидетельствуют о важной роли трития и его соединений в формировании ожидаемой эффективной дозы (далее – ОЭД) у человека [1–3], поскольку этот элемент способен встраиваться в генетический материал, ферментный аппарат клетки и при распаде нарушать функцию соответствующих клеточных структур, нанося клетке значительный ущерб [1, 4, 5].

Существенный вклад в локальное загрязнение тритием окружающей среды Уральского региона вносит многопрофильное предприятие ФГУП «ПО «Маяк», в результате деятельности которого образующийся тритий и его соединения поступают из технологических контуров промышленного оборудования, минуя очистные барьеры, в атмосферу и водоёмы – хранилища жидких радиоактивных отходов и далее распространяются в биосфере. В настоящее время накоплены значительные данные о содержании трития в лесных и луговых биогеоценозах, поверхностных водоёмах и приземной атмосфере в районе ФГУП «ПО «Маяк», а также о содержании трития в организме населения, проживающего в его ЗН [2, 6–8]. При этом полученные данные являются точечными и порой противоречивыми, нередко они получены 30–50 лет назад. К настоящему времени во многом изменились технологии переработки трития и содержащих его материалов, что существенно изменило объёмы сброса и выброса, а развитие фундаментальных знаний о тритии позволило найти новые решения для разработки более совершенных пробоотборных устройств. Всё это позволяет адресно и более гибко оценивать влияние сброса и выброса трития на формирование ОЭД облучения населения и одновременно ставит задачу совершенствования методов и средств оценки вклада трития в ОЭД людей, проживающих в ЗН ФГУП «ПО «Маяк», систематического радиационного контроля трития в ЗН ФГУП «ПО «Маяк».

Цель исследования – установление вклада трития в ОЭД облучения населения, проживающего в ЗН ФГУП «ПО «Маяк». Для объективной оценки воздействия трития на население необходимы комплексные исследования распространения трития в окружающей среде.

Материалы и методы

Объекты исследования: вода сети центрального водоснабжения, колодцев, скважин, поверхностных водоёмов, продукты питания местного производства (картофель и яблоки), атмосферный воздух (аэрозоли, атмосферная влага, осадки), биологические пробы (моча) населения, проживающего в ЗН ФГУП «ПО «Маяк». Места отбора проб выбирали исходя из расположения населённых пунктов по розе ветров, их удалённости и численности населения. На рисунке отражено расположение населённых пунктов, в которых осуществлялся отбор проб, относительно ФГУП «ПО «Маяк».

Тритий во влаге приземной атмосферы отбирали пассивным методом за счёт адсорбции влаги на цеолит марки NaX (искусственный алюмосиликат натрия, имеющий каркасную кристаллическую структуру с полостями) без принудительного движения воздуха с последующим выделением влаги методом термовакуумной десорбции в соответствии с методическими рекомендациями¹. В полученной при десорбции пробе воды измеряли объёмную активность (далее – ОА) трития, для расчёта ОА трития в форме оксида в атмосферном воздухе использовали измеренную ОА трития в пробе воды и данные о влажности и температуре воздуха в исследуемый период [9].

Продукты питания отбирали в августе на садовых участках, расположенных вблизи изучаемых населённых пунктов. Расчёт удельной активности (далее – УА) трития в форме оксида в продуктах питания выполняли по результатам измерений ОА трития в свободной воде (соке) картофеля и яблок в пересчёте на килограмм сырой массы в предположении равномерного распределения в плоде.

Оценку ОА трития в организме населения проводили по содержанию трития в биологических пробах (моче) в соответствии с методикой². Обследовали взрослых, профессионально не связанных с ФГУП «ПО «Маяк», и детей. Объём мочи составлял от 50 до 100 см³, в каждую пробу добавляли 2 г перманганата калия для консервирования. ОА трития в жидких средах определяли жидкостным сцинтилляционным методом² на радиометрах-спектрометрах альфа-бета-излучения Quantulus-1220 [10] и Tri-Carb [11]. Измерение активности основных дозообразующих радионуклидов проводили по соответствующим методикам³ с использованием альфа-, бета- и гамма-спектрометров.

¹ Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды. М.: Энергоиздат; 1980.

² И.ЦЗЛ.МИ.024-2020. Тритий. Методика измерений объёмной активности радиометрическим методом. Озёрск: ФГУП ПО «Маяк»; 2020.

³ Сертификат аккредитованной лаборатории ядерно-физических методов анализа № RA.RU.21MK10.

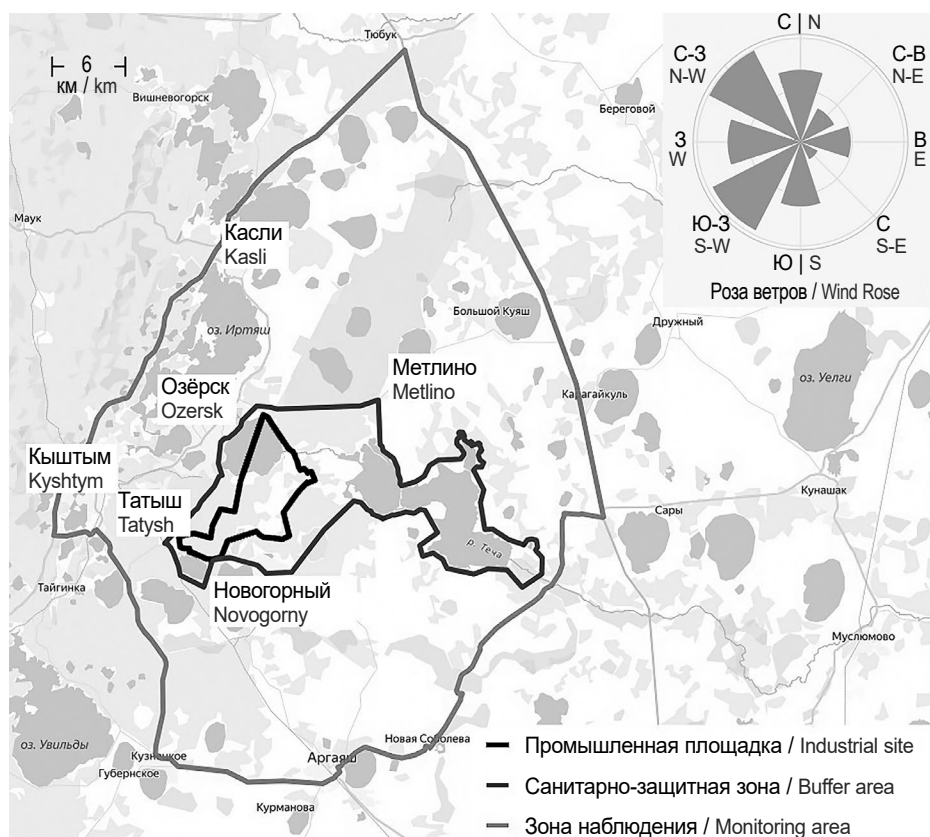


Схема расположения населённых пунктов вблизи ФГУП «ПО «Маяк».

Map of settlements located near the Mayak PA.

При учёте потребления продуктов питания рассматривали два сценария: 1 – потребление продуктов, привезённых из других регионов, и продуктов местного производства; 2 – потребление только продуктов, привезённых из других регионов (за пределами ЗН – 150 км). При этом использовали данные о структуре потребления основных продуктов питания в Челябинской области, представленные в статистическом бюллетене Росстата [12]. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах пересчитали с учётом данных об обеспечении сельскохозяйственной продукцией населения Челябинской области [13] и данных наблюдений за представленным ассортиментом продуктов питания в местных сетевых магазинах. При расчёте УА трития в водной фазе продуктов питания местного производства, представленных на рынке, исходили из условия, что основным путём их загрязнения тритием является влагообмен с атмосферой, а коэффициент распределения между продуктами и влагой в атмосферном воздухе составляет 1 [14].

Дозу внутреннего облучения тритием населения, проживающего в ЗН ФГУП «ПО «Маяк», оценивали двумя способами. В первом случае определяли ОЭД от всех путей поступления, в том числе в результате потребления продуктов питания, по данным измерений содержания трития в объектах окружающей среды в соответствии с рекомендациями [15]. Во втором случае ОЭД определяли по содержанию трития в организме людей в соответствии с методикой⁴, использующей модель облучения, принятую в методических указаниях⁵. Расчёт дозы от основных дозообразующих радионуклидов, за исключением трития, проводили в соответ-

ствии с методическими рекомендациями⁶. Исходными данными для выполнения расчёта были значения содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr и изотопов плутония в объектах внешней среды, а также мощности дозы гамма-излучения в исследованных населённых пунктах. Оценку значений годового поступления радионуклидов в организм населения в результате потребления продуктов питания местного производства выполняли по данным измерений их УА в почве, вычисляя переход радионуклидов из почвы в растительность и продукты питания с использованием динамической модели Ecosys-87 [16]. Оценка мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения в населённых пунктах выполнялась в соответствии с методическими указаниями⁷.

Всего отобрано более 400 проб различных сред, в которых исследовали содержание трития, и более 1000 проб различных сред для анализа содержания основных дозообразующих радионуклидов. Для статистической обработки данных использовали программное обеспечение MS Excel и DataFit version 9.1.32.

Результаты

Средние значения ОА трития в атмосферной влаге и в водопроводной воде исследованных населённых пунктов приведены в табл. 1.

Следует отметить, что в посёлках Метлино и Новогорный источником централизованного водоснабжения являются артезианские скважины, а не поверхностные водоёмы. Сравнение результатов измерений ОА трития в воде

⁴ М.ЦЗЛ.МИ.385-2019. Методика расчёта индивидуальной ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения по результатам измерения объёмной активности трития в жидкой фазе организма. Озёрск: ФГУП «ПО «Маяк»; 2019.

⁵ МУ 2.6.5.079–2018. Контроль индивидуальной ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении трития и его соединений в организм человека. М.: ФМБА России; 2018.

⁶ МР 2.6.1.0063–12. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях нормальной эксплуатации и радиационной аварии. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2013.

⁷ МУ 2.6.5.008–2016. Контроль радиационной обстановки. Общие требования. М.: ФМБА России; 2016.

Таблица 1 / Table 1

Средние значения объёмной активности трития в приземной атмосфере и в водопроводной воде
Average values of tritium volume activity in the surface atmosphere and in tap water

Населённый пункт Settlement	Объёмная активность трития, $M \pm \sigma$ Tritium volume activity, $M \pm \sigma$			
	в атмосфере, Бк/м ³ in the atmosphere, Bq/m ³	в водопроводной воде, Бк/л in tap water, Bq/L		
		год year		
		2019	2020	2021
Озёрск Ozersk	0.08 ± 0.04	40 ± 20	44 ± 22	35 ± 18
Метлино* Metlino*	0.07 ± 0.04	25 ± 13	28 ± 14	32 ± 16
Новогорный* Novogorny*	0.22 ± 0.35	35 ± 18	32 ± 16	31 ± 16
Татыш Tatysh	0.08 ± 0.07	20 ± 10	—	12 ± 6
Касли Kasli	0.07 ± 0.04	16 ± 8	—	18 ± 9
Кыштым Kyshtym	0.06 ± 0.03	18 ± 9	22 ± 11	17 ± 9

Примечание. * — источником центрального водоснабжения является артезианская скважина; «—» — измерения не выполнялись.
Note: * — the source of the central water supply is an artesian well; "—" — measurements were not taken.

Таблица 2 / Table 2

Средние значения удельной активности трития в яблоках и картофеле, Бк/кг сырой массы

Average values of tritium specific activity in apples and potatoes, Bq/kg wet weight

Населённый пункт Settlement	Удельная активность трития, $M \pm \sigma$ Tritium specific activity, $M \pm \sigma$	
	Яблоки Apples	Картофель Potato
Озёрск Ozersk	29 ± 11	9 ± 2
Метлино Metlino	18 ± 2	11 ± 2
Новогорный Novogorny	54 ± 9	19 ± 4
Татыш Tatysh	14 ± 3	11 ± 8
Касли Kasli	8 ± 3	5 ± 2
Кыштым Kyshtym	13 ± 4	8 ± 3

централизованного водоснабжения и питающих водоёмов показало сходимость результатов измерений ОА в пределах погрешности измерений.

В табл. 2 приведены результаты исследований содержания трития в продуктах питания, выращенных на приусадебных участках в исследованных населённых пунктах.

Результаты измерения ОА трития в биологических пробах (моче) населения приведены в табл. 3.

ОЭД населения от поступления трития в организм без учёта потребления продуктов местного производства в среднем составила 0,3 ± 0,1 мкЗв/год, ОЭД с учётом по-

Таблица 3 / Table 3

Средние значения объёмной активности трития в моче населения, Бк/л

Average values of tritium volume activity in urine in members of the population, Bq/L

Населённый пункт Settlement	Число обследованных лиц Number of examined persons	Диапазон значений объёмной активности трития Range of the tritium volume activity	Объёмная активность трития в моче, $M \pm \sigma$ Tritium volume activity in urine, $M \pm \sigma$
Озёрск Ozersk	42	15–68	28 ± 12
Метлино Metlino	23	15–63	34 ± 13
Новогорный Novogorny	26	12–57	30 ± 13
Татыш Tatysh	27	10–49	27 ± 11
Касли Kasli	30	7–42	18 ± 10
Кыштым Kyshtym	26	5–81	17 ± 18

требления продуктов местного производства — 0,5 ± 0,2 мкЗв/год, ОЭД населения по содержанию трития в организме в среднем составила 0,5 ± 0,2 мкЗв/год. При этом вклад ингаляционного и перкутанного путей поступления трития в ОЭД незначительный и составляет 2–5%.

В табл. 4 представлены данные о содержании основных дозообразующих радионуклидов в объектах окружающей среды в исследованных населённых пунктах.

Таблица 4 / Table 4

Средние значения содержания радионуклидов Pu + ⁹⁰Sr + ¹³⁷Cs в объектах окружающей среды, $M \pm \sigma$

Average values of radionuclide content of Pu + ⁹⁰Sr + ¹³⁷Cs in environmental objects, $M \pm \sigma$

Населённый пункт Settlement	Объёмная активность в приземной атмосфере, мкБк/м ³ Volume activity in the surface atmosphere, μBq/m ³	Поверхностная активность атмосферных выпадений, Бк/м ² Superficial activity of atmospheric fallout, Bq/m ²	Удельная активность в почве, Бк/кг Specific activity in soil, Bq/kg
Озёрск Ozersk	143 ± 98	76 ± 48	62 ± 27
Метлино Metlino	176 ± 110	53 ± 38	53 ± 13
Новогорный Novogorny	221 ± 119	83 ± 43	181 ± 37
Татыш Tatysh	318 ± 238	73 ± 33	193 ± 69
Касли Kasli	107 ± 56	39 ± 23	81 ± 29
Кыштым Kyshtym	276 ± 178	60 ± 35	108 ± 40

Таблица 5 / Table 5

Вклад трития в среднегодовую ожидаемую эффективную дозу облучения населения

Contribution of tritium to the average annual committed effective radiation dose to the population

Населённый пункт Settlement	Ожидаемая эффективная доза, мкЗв/год Committed effective dose, $\mu\text{Sv}/\text{year}$			Доля трития, % Tritium percentage
	Pu + ^{90}Sr + ^{137}Cs	Тритий Tritium	Суммарная Total	
Озёрск Ozersk	23 ± 11	0.6 ± 0.4	23.9	2.5
Метлино Metlino	22 ± 11	0.5 ± 0.3	22.0	2.3
Новогорный Novogorny	41 ± 22	0.8 ± 0.6	41.6	1.9
Татыш Tatysh	35 ± 17	0.4 ± 0.2	35.2	1.0
Касли Kasli	16 ± 9	0.4 ± 0.2	16.0	2.2
Кыштым Kyshtym	23 ± 12	0.4 ± 0.2	23.4	1.6
$M \pm \sigma$	27 ± 9	1.3 ± 0.5	27 ± 9	1.9 ± 0.6

Все результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы находились в диапазоне от 0,08 до 0,12 мкЗв/ч. Уровень радиационного фона на территории Челябинской области составляет в среднем 0,12 мкЗв/ч, что обусловлено природной составляющей [17].

В табл. 5 представлены результаты сравнения ОЭД от основных дозообразующих радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs и изотопы плутония) с ОЭД от трития с учётом всех путей его поступления (с учётом потребления продуктов питания местного производства).

Обсуждение

Результаты определения ОА трития в приземном слое атмосферы не превышают допустимую ОА трития во вдыхаемом воздухе для критической группы населения, составляющую 1900 Бк/м³ согласно НРБ-99/2009. При сопоставлении результатов исследования содержания трития в воздухе приземной атмосферы с данными исследований, проведённых ранее в ЗН ФГУП «ПО «Маяк», отмечается существенное снижение значений ОА трития в воздухе. Так, в работе [18] показано, что загрязнение тритием приземной атмосферы ЗН ФГУП «ПО «Маяк» в 1980–1999 г. было в диапазоне от 5,4 до 28,3 Бк/м³. Тенденция к снижению содержания трития в воздухе приземной атмосферы может быть обусловлена совершенствованием технологий переработки тритийсодержащих материалов и, как следствие, снижением выброса трития и его соединений. Повышенные значения ОА трития в приземной атмосфере характерны для пос. Новогорный, что связано с расположением вблизи промплощадки предприятия и преобладающим северным ветром.

Исследование воды водоёмов показало, что содержание в ней трития не превышает уровня вмешательства по содержанию трития в питьевой воде, составляющего 7600 Бк/л (НРБ-99/2009), однако данные объекты являются естественными накопителями трития. Во всех изученных водоёмах ОА трития составила от 12 до 44 Бк/л, что превышает фоновый уровень в среднем для России – 2–3 Бк/л [17]. В водоёмах также наблюдается тенденция к снижению ОА трития в сравнении с показателями 80–90-х годов XX века [18]. Это закономерно, поскольку ОА трития в воде водоёмов отражает его содержание в атмосфере и зависит от скорости диффузионного обмена между тритированным паром в атмосфере и тритием на поверхности воды, степени вымывания трития из атмосферы осадками, площади акватории и испарения с неё.

В продуктах питания местного производства также отмечается тенденция к снижению содержания трития. Так, УА трития в картофеле, выращенном в пос. Метлино, в 1986 г. составляла 280 Бк/кг [19], а в настоящем исследовании значения УА трития в картофеле составили от 5 до 19 Бк/кг.

ОА трития в моче населения, проживающего в ЗН ФГУП «ПО «Маяк» и не связанного с деятельностью предприятия, составила от 5 до 81 Бк/л, что сопоставимо со значениями ОА трития в моче населения, проживающего вблизи Белоярской АЭС [8]. Похожие данные (37–130 Бк/л) для жителей Озёрска

представили авторы исследования [20]. В моче детей Озёрска в период с 1980 по 1998 г. концентрация трития составляла в среднем 1140–1460 Бк/л, а на прилегающих территориях (Касли, Тюбук) – 810–1160 Бк/л [20]. В 2002 г. у взрослых мужчин и женщин Озёрска, не работающих на предприятии, этот показатель находился на уровне 126 ± 10 Бк/л [21]. Таким образом, можно судить о постепенном снижении содержания трития в организме людей, проживающих в ЗН ФГУП «ПО «Маяк» и не работающих на предприятии.

Показано незначительное (~ 30%) различие между ОЭД населения, определённой с учётом поступления трития с питьевой водой и продуктами питания местного производства, и ОЭД населения, определённой с учётом поступления трития только с питьевой водой. Результаты оценки годовой ОЭД населения по содержанию трития в организме сопоставимы с результатами оценки ОЭД, вычисленной от поступления трития с питьевой водой и продуктами питания. Кроме того, обнаружена положительная корреляция ($r = 0.65$) между результатами измерений ОА трития в водопроводной воде населённых пунктов и ОА трития в биологическом материале от населения. Таким образом, основное поступление трития в организм жителей исследованных населённых пунктов происходит с питьевой водой (65%). Значения ОА трития в воде являются реперным показателем содержания трития в организме людей, что может быть использовано при контроле содержания этого радионуклида в организме населения, проживающего в ЗН радиационно опасных объектов.

Вклад трития в ОЭД взрослого населения, обусловленной основными дозообразующими радионуклидами (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu), составляет в среднем 2%. Следует отметить, что расчёты ОЭД выполнены для взрослых, поэтому при оценке ОЭД лиц из критической группы населения (дети) данные оценки могут измениться.

Заключение

Результаты исследований показали, что облучение населения, проживающего в ЗН ФГУП ПО «Маяк», в основном обусловлено загрязнением от предшествующей деятельности предприятия: вклад основных дозообразующих радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs и изотопов плутония) остаётся существенным. Так, в 2008 г. 96% ОЭД взрослого населения было обусловлено радиоактивным загрязнением 1950–1960-х годов [22], в 2017 г. – 99,7% [23]. При этом тритий входит в число радионуклидов, суммарный вклад которых в ОЭД населения составляет не менее 99%, что определяет необходимость радиационного контроля данного радионуклида в ЗН ФГУП «ПО «Маяк»^{8,9}. Особое внимание следует уделять объектам питьевого водоснабжения.

⁸ Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды.

⁹ ПДВ-2012. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Утверждена приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 г. № 639.

Литература

1. Мушкачева Г.С., Русина Г.Г., Мукина К.Н. *Генетические структуры и тритий*. М.: Энергоатомиздат; 1994.
2. Телушкина Е.Л., Демин С.Н. Радиационно-гигиеническая оценка загрязнения внешней среды тритием и дозовые нагрузки на население в районе радиохимического предприятия. *Бюллетень радиационной медицины*. 1987; (1): 23–8.
3. Peterson S.R., Davis P.A. Tritium doses from chronic atmospheric releases: a new approach proposed for regulatory compliance. *Health Phys.* 2002; 82(2): 213–25. <https://doi.org/10.1097/00004032-200202000-00006>
4. Makhijani A., Smith B., Thorne M.C. Health risks of tritium: the case for strengthened standards. *Sci. Democr. Action.* 2007; 14(4): 1–12. Доступно: <https://ieer.org/wp/wp-content/uploads/2012/01/SDA-14-4.pdf>
5. Снигирева Г.П., Хаймович Т.И., Богомазова А.Н., Горбунова И.Н., Нагиба В.И., Никанорова Е.А. и др. Цитогенетическое обследование профессионалов-атомщиков, подвергшихся хроническому воздействию β -излучения трития. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2008; 49(1): 60–6. <https://elibrary.ru/jvykjb>
6. Телушкина Е.Л., Демин С.Н. Динамика уровней содержания трития в атмосферном воздухе и организме жителей зоны наблюдения вокруг радиохимического комбината. *Бюллетень радиационной медицины*. 1988; (1): 141–5.
7. Финашов Л.В., Востротин В.В., Янов А.Ю. Тритий в моче у жителей города Озерска Челябинской области в 2016 г. *Радиационная гигиена*. 2019; 12(3): 42–9. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-42-49> <https://elibrary.ru/eqftph>
8. Чеботина М.Я., Николин О.А., Бондарева Л.Г., Ракитский В.Н. Тритий в моче людей в зоне влияния Белоярской АЭС. *Радиационная гигиена*. 2016; 9(4): 87–92. <https://elibrary.ru/ykwcjr>
9. World Weather. Архив погоды. Доступно: https://world-weather.ru/archive/russia/ozersk_1
10. Ultra low level liquid scintillation spectrometer Quantulus-1220: instrument manual. PerkinElmer; 2000.
11. Tri-Carb Liquid Scintillation Analyzer (Models B2810TR, B2910TR, B3110TR, and B3180TR/SL) Reference Manual. PerkinElmer; 2009.
12. Росстат. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2020 году. Информационно-аналитические материалы. Доступно: <https://rosstat.gov.ru/compendium>
13. Ресурсы продуктов питания по Челябинской области 2017 г: отчет Росстата; 2017.
14. Егурнева Т.Б. *Модель поведения трития в окружающей среде, поступающего с технологическими сбросами предприятий атомной промышленности*. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Челябинск; 1988.
15. Eckerman K., Harrison J., Menzel H.G., Clement C.H. ICRP Publication 119: Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. *Ann. ICRP*. 2012; 41(Suppl. 1): 1–130. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.038>
16. Müller H., Pröhl G. ECOSYS-87: a dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. *Health Phys.* 1993; 64(3): 232–52. <https://doi.org/10.1097/00004032-199303000-00002>
17. *Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2000–2020 годах. Ежегодники Росгидромета*. Обнинск: НПО Тайфун; 2001–2021.
18. Миронова Н.И. *Тритий – это опасно*. Челябинск: Челябинский Дом печати; 2001.
19. Демин С.Н., Терновский И.А., Телушкина Е.Л. Динамика расчетных реальных доз от трития в районе радиохимического комбината. В кн.: *Проблемы охраны труда и окружающей среды на предприятиях атомной промышленности. Выпуск I*. М.; 1986: 81–6.
20. Чеботина М.Я., Смагин А.И. Тритий в водных средах г. Озёрска. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(2): 111–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-111-115> <https://elibrary.ru/rsblq>
21. Мурашова Е.Л., Чудин В.А. Оценка содержания трития в организме взрослого населения города Озерска. *Вопросы радиационной безопасности*. 2002; (4): 57–60.
22. Отчет по экологической безопасности ФГУП «ПО «Маяк» за 2008 год. Озёрск: Маяк; 2009.
23. Отчет по экологической безопасности ФГУП «ПО «Маяк» за 2017 год. Озёрск: Маяк; 2018.

References

1. Mushkacheva G.S., Rusinova G.G., Muksinova K.N. *Genetic Structures and Tritium [Geneticheskie struktury i tritii]*. Moscow: Energoatomizdat; 1994. (in Russian)
2. Telushkina E.L., Demin S.N. Radiation-hygienic assessment of environmental contamination with tritium and dose to members of the public living near the radiochemical plant. *Byulleten' radiatsionnoi meditsiny*. 1987; (1): 23–8. (in Russian)
3. Peterson S.R., Davis P.A. Tritium doses from chronic atmospheric releases: a new approach proposed for regulatory compliance. *Health Phys.* 2002; 82(2): 213–25. <https://doi.org/10.1097/00004032-200202000-00006>
4. Makhijani A., Smith B., Thorne M.C. Health risks of tritium: the case for strengthened standards. *Sci. Democr. Action.* 2007; 14(4): 1–12. Available at: <https://ieer.org/wp/wp-content/uploads/2012/01/SDA-14-4.pdf>
5. Snigireva G.P., Khaimovich T.I., Bogomazova A.N., Gorbunova I.N., Nagiba V.I., Nikanorova E.A., et al. Cytogenetic examination of nuclear specialists exposed to chronic beta-radiation of tritium. *Radiatsionnaya biologiya. Radioehkologiya*. 2008; 49(1): 60–6. <https://elibrary.ru/jvykjb> (in Russian)
6. Telushkina E.L., Demin S.N. Dynamics of tritium levels in the atmospheric air and body of members of the public in the monitoring area of the radiochemical plant. *Byulleten' radiatsionnoi meditsiny*. 1988; (1): 141–5. (in Russian)
7. Finashov L.V., Vostrotin V.V., Yanov A.Yu. Tritium in urine in residents of Ozyorsk, the Chelyabinsk region in 2016. *Radiatsionnaya gigiena*. 2019; 12(3): 42–9. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-42-49> <https://elibrary.ru/eqftph> (in Russian)
8. 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*. 2016; 9(4): 87–92. <https://elibrary.ru/ykwcjr> (in Russian)
9. World Weather. Weather Archive. Available at: https://world-weather.ru/archive/russia/ozersk_1 (in Russian)
10. Ultra low level liquid scintillation spectrometer Quantulus-1220: instrument manual. PerkinElmer; 2000.
11. Tri-Carb Liquid Scintillation Analyzer (Models B2810TR, B2910TR, B3110TR, and B3180TR/SL) Reference Manual. PerkinElmer; 2009.
12. Federal State Statistics Service. Food consumption in households in 2020. Information and analytical materials. Available at: <https://rosstat.gov.ru/compendium> (in Russian)
13. Food resources in the Chelyabinsk region 2017: Rosstat report; 2017. (in Russian)
14. Egrunova T.B. *A model of the behaviour of tritium in the environment from the process discharges of nuclear industry enterprises*: Diss. Chelyabinsk; 1988. (in Russian)
15. Eckerman K., Harrison J., Menzel H.G., Clement C.H. ICRP Publication 119: Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60. *Ann. ICRP*. 2012; 41(Suppl. 1): 1–130. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2012.06.038>
16. Müller H., Pröhl G. ECOSYS-87: a dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. *Health Phys.* 1993; 64(3): 232–52. <https://doi.org/10.1097/00004032-199303000-00002>
17. *Radiation Situation on the Territory of Russia and Neighboring Countries in 2000–2020. Roshydromet Yearbooks*. Obninsk: RPA Taifun; 2001–2021. (in Russian)
18. Mironova N.I. *Tritium is Dangerous [Tritii – eto opasno]*. Chelyabinsk: Chelyabinskii Dom Pechati; 2001. (in Russian)
19. Demin S.N., Ternovskii I.A., Telushkina E.L. Dynamics of estimated real doses from tritium in the area of the radiochemical plant. In: *Problems of Labour and Environmental Protection at Nuclear Industry Enterprises. Volume I [Problemy okhrany truda i okruzhayushchei sredy na predpriyatiyakh atomnoi promyshlennosti. Vypusk I]*. Moscow; 1986: 81–6. (in Russian)
20. Chebotina M.Ya., Smagin A.I. Tritium in the aquatic environment of Ozersk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(2): 111–5. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-111-115> <https://elibrary.ru/rsblq> (in Russian)
21. Murashova E.L., Chudin V.A. Assessment of tritium content in the body of the adult population of the city of Ozersk. *Voprosy radiatsionnoi bezopasnosti*. 2002; (4): 57–60. (in Russian)
22. Environmental Safety Report of Mayak PA for 2008. Ozersk: Mayak; 2009. (in Russian)
23. Environmental Safety Report of Mayak PA for 2017. Ozersk: Mayak; 2018. (in Russian)

Сведения об авторах

Барчуков Валерий Гаврилович, доктор мед. наук, профессор, член-корр. РАН, зав. лаб. радиационной безопасности персонала ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия. E-mail: barchval@yandex.ru

Ушаков Игорь Борисович, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, гл. науч. сотр. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия

Мурашова Екатерина Леонидовна, канд. биол. наук, инженер Центральной заводской лаборатории ФГУП «ПО «Маяк», 456784, Озёрск, Россия

Максимов Алексей Андреевич, ст. науч. сотр. лаб. радиационной безопасности персонала ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия

Сибиркин Александр Владимирович, нач. отд. радиационной безопасности завода 156 ФГУП «ПО «Маяк», 456784, Озёрск, Россия

Кабанов Дмитрий Игоревич, канд. биол. наук, науч. сотр. лаб. радиационной безопасности персонала ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия

Original article

Лизунов Владимир Юрьевич, канд. мед. наук, доцент каф. медико-профилактических дисциплин с курсами радиационной гигиены и радиационной медицины, МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия

Польская Мария Константиновна, мл. научн. сотр. лаб. радиационной безопасности персонала ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 123098, Москва, Россия

About the authors

Valery G. Barchukov, DSc (Medicine), professor, Corresponding Member of the RAS, head of the Laboratory of radiation safety of workers, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7125-6703>
E-mail: barchval@yandex.ru

Igor B. Ushakov, DSc (Medicine), professor, academician of RAS, chief researcher, Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0270-8622>

Ekaterina L. Murashova, PhD (Biology), engineer, Central plant laboratory, Production Association "Mayak", Ozersk, 456784, Russian Federation

Aleksei A. Maksimov, senior researcher, Laboratory of radiation safety of workers, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7296-1933>

Aleksandr V. Sibirkin, head, Dept. radiation safety, Production Association "Mayak", Ozersk, 456784, Russian Federation

Dmitry I. Kabanov, PhD (Biology), researcher, Laboratory of radiation safety of workers, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation

Vladimir Yu. Lizunov, PhD (Medicine), associate professor, Dept. medical and preventive disciplines with courses in radiation hygiene and radiation medicine, Medical and Biological University of Innovation and Continuing Education, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8047-2531>

Maria K. Polskaya, junior researcher, Laboratory of radiation safety of workers, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal medical biological agency of Russia, Moscow, 123098, Russian Federation