

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-594-600>

УДК 614.712:614.73

© Коллектив авторов, 2021

Барчуков В.Г., Кочетков О.А., Клочков В.Н., Еремина Н.А., Максимов А.А.

Распространение трития и его соединений в окружающей среде при нормальных условиях эксплуатации Калининской АЭС

ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, ул. Живописная, 46, Москва, Россия, 123098

Тритий — важнейший дозообразующий радионуклид, определяющий радиационную обстановку в районе расположения предприятий ядерного топливного цикла. При этом уловить тритий, образующийся в процессе эксплуатации атомной электростанции, современными эффективными и дешёвыми технологиями не представляется возможным. Это обуславливает увеличение его концентрации в объектах окружающей среды и увеличение вклада техногенного трития в радиационную нагрузку населения. Поэтому контроль образования трития при работе АЭС, содержания трития в выбросах и сбросах АЭС, а также распределения этого радионуклида в окружающей среде является на сегодняшний день особенно актуальным.

Цель исследования — анализ загрязнения окружающей среды за счёт выбросов и сбросов трития с Калининской АЭС, распространения трития воздушным путём, а также накопления трития в водоёмах, почве и продуктах питания, выращенных в районе расположения атомной станции.

При проведении исследований использованы методики, разработанные специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна: 1) «Методика определения объёмной активности органических и неорганических соединений трития в водных объектах методом жидкосцинтилляционной спектрометрии». 2) «Методика определения концентрации органических и неорганических соединений трития в воздухе окружающей среды и производственных помещений». 3) «Методика определения удельной активности соединений трития в грунте и растительности» разрабатывалась и была апробирована в ходе натурных исследований на Калининской АЭС. В качестве пробоподготовки был использован метод на основе сжигания отобранных проб в специализированной печи *Pyrolyser-6 Trio*. Все подготовленные счётные образцы измерялись методом жидкосцинтилляционной спектрометрии на счётчике *Tri-Carb 3180TR/SL*.

На основе комплексного подхода к оценке содержания трития и его соединений в воздухе, воде, почве и продуктах питания выполнен анализ формирования загрязнения окружающей среды за счёт выбросов и сбросов трития с Калининской АЭС.

Показано, что при поступлении трития в продукты питания существенное значение имеет перенос выбросов со станции воздушным путём и направление ветра, преобладающего на территории расположения АЭС. Показана необходимость учёта поступления трития с выбросами АЭС в окружающую среду в задаче оптимизации радиационной защиты населения в условиях нормальной эксплуатации АЭС.

Ключевые слова: тритий; выбросы трития; почва; распространение трития; тритий в воздухе; тритий в продуктах питания

Для цитирования: Барчуков В.Г., Кочетков О.А., Клочков В.Н., Еремина Н.А., Максимов А.А. Распространение трития и его соединений в окружающей среде при нормальных условиях эксплуатации Калининской АЭС. *Мед. труда и пром. ecol.* 2021; 61(9): 594–600. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-594-600>

Для корреспонденции: Барчуков Валерий Гаврилович, зав. лабораторией, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, д-р мед. наук, профессор. E-mail: barchval@yandex.ru

Участие авторов: Барчуков В.Г., Кочетков О.А. — концепция работы; Максимов А.А. — сбор и обработка данных; Еремина Н.А., Клочков В.Н. — написание текста и редактирование.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 30.07.2021 / *Дата принятия к печати:* 29.09.2021 / *Дата публикации:* 20.10.2021

Valery G. Barchukov, Oleg A. Kochetkov, Vladimir N. Klochkov, Natalya A. Eremina, Aleksei A. Maksimov

Distribution of tritium and its compounds in the environment under normal conditions of operating of Kalininskaya nuclear power plant

State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 46, Zhivopisnaya st., Moscow, Russia, 123098

Tritium is one of the most important dose-forming radionuclides that determine the radiation situation in the area where nuclear fuel cycle enterprises are located. At the same time, it is not possible to catch the tritium formed during the operation of a nuclear power plant using modern, efficient and cheap technologies. This causes an increase in its concentration in environmental objects and an increase in the contribution of technogenic tritium to the radiation load of the population. Therefore, the task of monitoring the formation of tritium during the operation of nuclear power plants, the content of tritium in emissions and discharges of nuclear power plants, as well as the distribution of this radionuclide in the environment is especially urgent today.

The study aims to analyze the environmental pollution due to emissions and discharges of tritium from the Kalininskaya nuclear power plant, the process of spreading tritium by air, as well as the accumulation of this radionuclide in water bodies, soil and food products grown in the area of the nuclear power plant.

The following methods, developed by the specialists of the Burnasyan Federal Medical Biophysical Center were used during

the research: 1) "Method for determining the volumetric activity of organic and inorganic tritium compounds in water bodies by liquid scintillation spectrometry". 2) "Methodology for determining the concentration of organic and inorganic tritium compounds in the air of the environment and industrial premises". 3) "The method for determining the specific activity of tritium compounds in soil and vegetation" was developed and tested in the course of field studies at the Kalinin NPP. As a sample preparation we used the method based on burning a selected sample in a specialized Pyrolyser-6 Trio oven. All prepared counting samples were measured by liquid scintillation spectrometry on a counter Tri-Carb 3180TR/SL. On the basis of an integrated approach to assessing the content of tritium and its compounds in air, water, soil and food, an analysis of the formation of environmental pollution due to emissions and discharges of tritium from the Kalinin NPP was carried out.

It is shown that the transport of emissions from the NPP by air and the wind direction prevailing in the territory of the NPP location have a significant importance in the formation of the contribution to the ingress of tritium into foodstuffs. The necessity of taking into account the ingress of tritium and its compounds with nuclear plant emissions into the environment in the task of optimization of radiation protection of the population under conditions of normal operation of NPP is shown.

Keywords: tritium; tritium emissions; soil; distribution of tritium; tritium in the air; tritium in food

For citation: Barchukov V.G., Kochetkov O.A., Klochkov V.N., Eremina N.A., Maksimov A.A. Distribution of tritium and its compounds in the environment under normal conditions of operating of Kalininskaya nuclear power plant. *Med. truda i prom. ekol.* 2021; 61(9): 594–600. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-9-594-600>

For correspondence: Valery G. Barchukov, Head of Laboratory, State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Dr. of Sci. (Med.), Prof. E-mail: barchval@yandex.ru

Information about authors: Barchukov V.G. <https://orcid.org/0000-0003-4229-3107>

Kochetkov O.A. <https://orcid.org/0000-0001-8777-4479>

Contribution: Barchukov V.G., Kochetkov O.A. — research concept;
Maksimov A.A. — data collection and processing;
Eremina N.A., Klochkov V.N. — text writing and editing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 30.07.2021 / *Accepted:* 29.09.2021 / *Published:* 20.10.2021

Системы безопасности атомной электростанции препятствуют выходу в окружающую среду накапливающихся в топливе в процессе работы реактора радиоактивных продуктов деления и элементов топливной композиции, тем самым сводя к минимуму воздействие ионизирующего излучения на персонал станции и население, проживающее в районе расположения АЭС [1].

Однако при реальной эксплуатации АЭС в безаварийном режиме всегда существуют неплотности и дефекты в системе трубопроводов [2]. В результате чего возникают протечки теплоносителя, как между контурами, так и во внешнюю среду. При испарении теплоносителя в помещении АЭС поступают газообразные и аэрозольные радиоактивные продукты деления. При ремонтных работах, особенно сопровождающихся разгерметизацией первого контура и открытием крышки реактора, также происходит загрязнение воздуха, и поверхностное загрязнение помещений и оборудования. Дезактивация загрязнённых поверхностей приводит к образованию жидких радиоактивных отходов, которые собираются и подвергаются концентрированию [3]. Непосредственным источником поступления в атмосферный воздух летучих радиоактивных веществ (в особенности трития) от реактора ВВЭР является вентиляционная система герметичных помещений первого контура и самого реактора [4]. Газоаэрозольные выбросы АЭС (загрязнённый воздух из помещений) в атмосферу производятся в основном после очистки, через вентиляционные трубы высотой 100 м, способствующую лучшему рассеиванию радиоактивных продуктов в воздухе и уменьшению их концентрации в приземной атмосфере [5].

Таким образом, выбросы и сбросы являются основными источниками воздействия на персонал атомной станции и население, проживающее в районе её расположения.

Системы безопасности на АЭС позволяют максимально уловить образующиеся в процессе эксплуатации радионуклиды. Исключение составляют радиоизотоп водорода тритий (^3H , $T_{1/2}=12,3$ лет) и радиоизотоп углерода — углерод-14 (^{14}C , $T_{1/2}=5730$ лет). Уловить тритий современными дешёвыми и эффективными технологиями не пред-

ставляется возможным. Это обуславливает существенное увеличение вклада техногенного трития в радиационную нагрузку населения [6].

При этом тритий относится к числу важнейших дозобразующих радионуклидов [7, 8], характеризующих и определяющих радиационную обстановку в районе расположения предприятий ядерного топливного цикла. Физико-химические свойства трития приводят к тому, что тритий становится составной частью молекул, замещая при этом водород, изотопом которого он является, а не химической примесью. Так, атомы трития, заменяя собой атомы водорода в молекулах, способствуют образованию тритированного газа (HT), в молекулах воды формируют образование оксида трития (HTO), в органических молекулах способствуют образованию органических соединений трития (OCT) [9]. После поступления в организм человека с воздухом, водой или продуктами питания тритий равномерно распределяется в водной фазе организма. Он активно включается в состав биологической ткани, вызывая мутагенные нарушения, как за счёт бета-излучения средней энергии 5,7 кэВ, так и за счёт нарушения молекулярных связей, вызванных заменой изотопа водорода нейтральным гелием, образовавшимся в результате распада трития. При этом за счёт периода полураспада 12,3 года тритий способен накапливаться в объектах окружающей среды, органах и тканях живых организмов и таким образом являться глобальным загрязнителем природных компонентов.

Именно поэтому задача контроля за образованием трития при работе АЭС, за содержанием трития в выбросах и сбросах АЭС, а также за последующим распределением этого радионуклида в окружающей среде является на сегодняшний день особенно актуальной. Мониторинг содержания трития в атмосфере, водных и биологических объектах, а также контроль за содержанием трития в выбросах и сбросах при эксплуатации АЭС в настоящее время ведётся практически на всех АЭС ведущих стран мира [10].

Согласно [11] через органы дыхания и кожные покровы в организм человека поступает до 65% трития и его

соединений. Следовательно, вклад воздушного поступления трития для населения, проживающего в районе расположения АЭС, является значимым при оценке дозы. В этой связи наиболее актуальными являются исследования по определению содержания трития и его соединений в атмосферном воздухе. При этом если для оценки воздействия трития на персонал атомной станции, работающий с тритием и его соединениями, достаточно иметь методы по оценке содержания трития в воздухе рабочей зоны и в воде, то для населения актуальной является необходимость оценки содержания трития в почве, растительности и продуктах питания, которые были выращены в районе расположения атомной электростанции.

Цель исследования — для получения картины распределения в окружающей среде трития и его соединений, поступающих с АЭС, в августе 2018 г. специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна проведены натурные исследования на Калининской АЭС, эксплуатирующей реакторы ВВЭР-1000. В ходе исследований были отобраны пробы воздуха, воды из поверхностных водоёмов в районе расположения станции, а также пробы почвы и продуктов питания, выращенных в этой почве.

В настоящей статье обсуждаются аспекты формирования загрязнения окружающей среды за счёт выбросов и сбросов трития с Калининской АЭС, рассматривается процесс распространения трития и его соединений воздушным путём, а также накопление данного радионуклида в водоёмах, почве и продуктах питания, выращенных в районе расположения атомной станции.

Специалистами ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России разработана система контроля для определения содержания трития в различных средах: вода, воздух, почва и растительность, продукты питания. В систему входят три методики:

1. «Методика определения объёмной активности органических и неорганических соединений трития в водных объектах методом жидкосцинтилляционной спектрометрии»;

2. «Методика определения концентрации органических и неорганических соединений трития в воздухе окружающей среды и производственных помещений» (МУК 4.3.047–2017) [12].

3. «Методика определения удельной активности соединений трития в грунте и растительности» [13] разрабатывалась и была апробирована в ходе натурных исследований на Калининской АЭС.

Для определения объёмной активности трития в воздухе был использован расходомер-пробоотборник TASC-HT-НТО-С-14 (*Overhoff technology, USA*) [14]. Особенность этого прибора заключается в том, что тритий собирается с использованием двухстадийного процесса. На каждой стадии тритий собирается в три виалы с абсорбирующей жидкостью.

Отбираемая проба воздуха, содержащая тритий в форме НТО и газообразной форме НТ, проходит через НЕРА фильтр и первые три пластиковые виалы, в которых собирается тритий в форме НТО. Затем проба воздуха проходит через термический окислитель, где весь элементарный тритий в форме НТ в пробах окисляется.

Окислённый тритий в форме НТ собирается в следующие три виалы. Анализ проб базируется на условии, что тритий из 100 см³ воздуха накапливается каждую минуту. Таким образом, по завершении времени наблюдения определяют среднюю концентрацию трития в воздухе путём измерения содержимого виал методом жидкосцинтилляционной спектрометрии.

Пробоотборник TASC-HT-НТО-С14 проводит отбор проб в течение любого отрезка времени, заданного пользователем.

Для определения активности трития в отобранных пробах собранная жидкость каждой очереди из трёх виал усредняется: содержимое трёх виал из первого блока пробоотборника (НТО) объединяют, измеряют объём V_1 , раствор равномерно перемешивают в отдельной посуде, отбирают дозатором количество пробы, необходимое для измерений $V_{1 \text{ сч.обр}}$ и добавляют в подготовленную виалу со сцинтилляционным коктейлем. Это счётный образец для определения НТО в пробе. Аналогичным образом подготавливают счётные образцы для определения НТ в пробе.

Для разделения соединений трития, содержащихся в воздухе, также использовали принцип его кондиционирования, т. е. перевод паров воздуха в конденсат. Эта задача была решена с помощью осушителя воздуха фирмы Ballu BDH-1SL (*Ballu, Россия*). В образующийся конденсат переходят содержащиеся в воздухе соединения трития, способные переходить в воду (НТО и ОСТ), тогда как газообразные формы (НТ, Т₂, CH₂T, НТ и т. д.) не улавливаются.

Помимо этого, в ходе натурных исследований на Калининской АЭС была апробирована методика по измерению низких концентраций трития в воздухе с помощью прибора *Monitor of tritium concentration (TOR-1)* (монитор для измерения низких концентраций трития в воздухе (МТ-1), которая в настоящее время разрабатывается специалистами кафедры технологии изотопов и водородной энергетики ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Монитор для измерения низких концентраций трития в воздухе предназначен для селективного извлечения разных форм трития (НТО и НТ) из газовой фазы и перевода их в жидкую пробу для дальнейшего анализа.

Отбор проб воздуха с помощью расходомера-пробоотборника TASC-HT-НТО-С-14 осуществлялся в течение 24 часов в каждой точке, с помощью монитора для измерения низких концентраций трития в воздухе (МТ-1) — в течение 2 часов, а с помощью осушителя воздуха Ballu BDH-1SL — в течение 3–4 часов. Пробы воздуха были отобраны в населённых пунктах в районе расположения Калининской АЭС. При разработке плана работ в окружающих населённых пунктах учитывалась в первую очередь роза ветров в районе расположения Калининской АЭС (рис. 2) [15].

При проведении исследований специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна учитывалось также расстояние населённых пунктов от станции. Населённые пункты и водные объекты в районе расположения КалАЭС, в которых проводился отбор проб, представлены на рисунке 2.

Из рисунков 1 и 2 видно, что в течение года в районе расположения Калининской АЭС преобладают ветры западного и южного направлений: роза ветров направлена на Восток (в сторону д. Еремково) и на Север (в сторону пункта АСКРО и п. Ряд). По остальным направлениям роза ветров направлена практически одинаково.

На основании розы ветров и удалённости населённых пунктов от АЭС отбор проб осуществлялся в районе расположения следующих населённых пунктов: д/о «Сказка» (17,6 км от АЭС по прямой на юго-запад); г. Удомля (4,3 км от АЭС по прямой на юго-запад); д. Ряд (3,4 км от АЭС по прямой на северо-восток); с. Еремково (13,3 км от АЭС по прямой на юго-восток); д. Мишнево (5,7 км

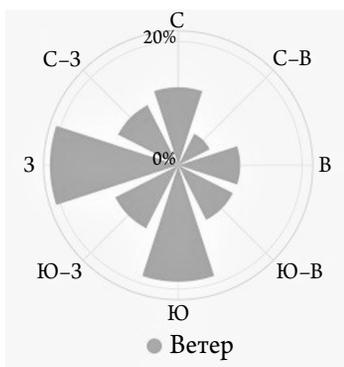


График ветра (направление — откуда дует ветер) в Удомле

С ▾	С-В ▸	В ◀	Ю-В ▸	Ю ▲	Ю-З ▾	З ▶	С-З ◀
12,6%	5,7%	10%	9,9%	18,8%	11,4%	20,7%	10,9%

Рис. 1. Роза ветров в г. Удомля в 2018 г.
Fig. 1. Wind rose in Udomlya in 2018

от АЭС по прямой на запад); д. Лайково-Попово (6,3 км от АЭС по прямой на юго-запад); озеро Песьво (4 км по прямой от АЭС на запад); озеро Кубыча (9,5 км по прямой от АЭС на юг).

Населённые пункты были выбраны ещё и таким образом, чтобы провести отбор проб в окружающей среде вокруг АЭС со всех сторон для получения полной картины распространения трития в районе расположения станции.

Подготовка проб воздуха проводилась в соответствии с методикой «Методика определения концентрации органических и неорганических соединений трития в воздухе окружающей среды и производственных помещений» (МУК 4.3.047–2017) [12]. Подготовка проб водных объектов проводилась в соответствии с методикой «Методика определения объёмной активности органических и неорганических соединений трития в водных объектах методом жидко-сцинтилляционной спектрометрии» (МУК 4.3.044–2012).

Измерения содержания трития в счётных образцах, подготовленных из отобранных проб воздуха и воды, выполнялись методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии (ЖСС) на жидкостном сцинтилляционном спектрометре *Tri-Carb 3180 TR/SL*. Метод ЖСС имеет существенные преимущества по сравнению с широко применявшимся ранее методом измерения с помощью ионизационной камеры. Запатентованная технология снижения фона (более чем на 90%) обеспечивает гораздо более высокую чувствительность спектрометра *Tri-Carb*: минимальная детектируемая активность (МДА) спектрометра *Tri-Carb 3180 TR/SL* и ионизационной камеры составляет 1 Бк/л и ~105–106 Бк/л, соответственно [16]. Поэтому использование спектрометра *Tri-Carb 3180 TR/SL* позволяет проводить анализ низкоактивных образцов.

Измерение содержания трития в образцах почвы и продуктах питания также осуществлялось с помощью прибора *Tri-Carb*, но после предварительной пробоподготовки на основе сжигания отобранных проб в кислороде в пламенной печи *Pyrolyser-6 Trio (Raddec LTD, Великобритания)*. Данный метод пробоподготовки позволяет улавливать до 95% трития в твёрдой пробе [17].

Принцип работы *Pyrolyser-6 Trio* заключается в том, что пробы помещаются в лодочки из кварцевого стекла, которые затем помещаются внутри кварцевой рабочей трубки в центр зоны подачи пробы. Воздух пропускается



Рис. 2. Расположение населённых пунктов вокруг Калининской АЭС.

Места отбора проб, Калининская АЭС
Fig. 2. Location of settlements around the Kalinin NPP
Sampling locations, Kalinin NPP

через пробу, которая постепенно нагревается до максимальной температуры. В зоне каталитического разложения продукты сгорания пробы пропускаются через гетерогенный катализатор с платиновым покрытием, нагретым до 800°C, при этом все ионы трития окисляются до оксида трития, который осаждается в ловушках с азотной кислотой. Из полученных в ловушках растворов готовят счётные образцы.

Значения объёмной активности трития в пробах воздуха, отобранных в выбранных населённых пунктах, представлены в *таблице 1*. Также в *таблице 1* представлены значения активности трития во влаге отобранного воздуха, рассчитанные по известным данным зависимости содержания воды в м³ воздуха от температуры и влажности воздуха в момент отбора пробы.

Из *таблицы 1* видно, что наибольшее значение объёмной активности соединений трития было зафиксировано в д. Еремково — 14 Бк/м³. В д. Ряд, г. Удомля, д. Мишнево значения объёмной активности трития в приземных слоях атмосферы оказались практически одинаковыми, на уровне 11 Бк/м³. При этом значение объёмной активности трития в воздухе вентиляционной трубы составило: 360 Бк/м³ для фракции НТО и 80 Бк/м³ для фракции НТ.

Помимо этого, из *таблицы 1* можно увидеть взаимосвязь между полученными результатами и основными направлениями ветров в районе расположения станции: существенное преобладание западных ветров, направленных как раз в сторону д. Еремково.

Кроме того, по результатам, представленным в *таблице 1*, можно сделать вывод, что монитор для измерения низких концентраций трития МТ-1 оказался более эффективным и достоверным, чем расходомер-пробоотборник *TASC-НТ-НТО-С-14* и осушитель воздуха *Ballu*, при времени отбора проб в разы меньшем, чем у *TASC-НТ-НТО-С-14* и, в отличие от осушителя воздуха *Ballu*, измерением отдельно фракций НТО и НТ. Этот вывод даёт основание считать монитор МТ-1 наиболее удобным и подходящим прибором для измерения активности трития в воздухе.

Радиационный контроль воды открытых водоёмов, расположенных в зоне наблюдения Калининской АЭС,

Объёмная активность трития в воздухе населённых пунктов в районе расположения Калининской АЭС
Volumetric activity of tritium in the air of settlements in the area of the Kalinin NPP

Место пробоотбора	Удалённость от АЭС, км	Метод пробоотбора		Объёмная активность Н-3, Бк/м ³	Активность Н-3 во влаге воздуха, Бк/л
д. Ряд	3,4	Барботирование (<i>Overhoff</i>)	НТО	< МДА	< МДА
			НТ	< МДА	< МДА
		Барботирование (Монитор МТ-1)	НТО	11	780
			НТ	3	60
Конденсат воздуха (<i>Ballu</i>)		НТО	< МДА	< МДА	
г. Удомля	4,3	Барботирование (<i>Overhoff</i>)	НТО	< МДА	< МДА
			НТ	< МДА	< МДА
		Барботирование (Монитор МТ-1)	НТО	12	720
			НТ	4	70
Конденсат воздуха (<i>Ballu</i>)		НТО	< МДА	< МДА	
д. Мишнево	5,7	Барботирование (Монитор МТ-1)	НТО	11	540
			НТ	1	14
д. Еремково	13,3	Барботирование (<i>Overhoff</i>)	НТО	1	14
			НТ	< МДА	< МДА
		Барботирование (Монитор МТ-1)	НТО	14	990
			НТ	4	80
Конденсат воздуха (<i>Ballu</i>)		НТО	< МДА	< МДА	

Примечание: МДА=1 Бк/м³
 Note: MDA=1 Bq/m³

проводится лабораторией внешнего дозиметрического контроля (ЛВДК) один раз в полугодие. В таблице 2 представлены усреднённые данные, полученные специалистами ЛВДК за 2016–2018 гг. [18], о содержании радионуклидов в воде водоёмов-охладителей (оз. Песьво и оз. Удомля), в воде близлежащих водоёмов, не связанных со сбросами Калининской АЭС — оз. Кубыча и озеро на территории д/о «Сказка», расположенных в зоне наблюдения и выбранных в качестве фоновых, а также данные по пробам, отобранным специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в 2018 г. в тех же точках.

По результатам, представленным в **таблице 2**, можно сделать вывод о том, что значения объёмной активности трития в водоёмах, не связанных со сбросами КАЭС (оз. Кубыча и оз. В д/о «Сказка») и выбранных в качестве фоновых объектов, оказались меньшими МДА. А в водоёмах-охладителях атомной станции: оз. Песьво (устье сбросного канала) и оз. Удомля (входной канал) активность трития была обнаружена, что показывает влия-

ние сбросов АЭС на содержание трития в близлежащих водоёмах.

Из **таблицы 2** видно, что средняя объёмная активность трития в водоёмах-охладителях с 2016 г. уменьшалась, составив по данным ЛВДК в 2017 г. 11–12 Бк/л, в 2018 г. — 11 Бк/л (7,2 и 10 Бк/л по данным ФМБЦ), что на два порядка ниже установленного в НРБ-99/2009 уровня вмешательства и рекомендованного контрольного уровня (5000 Бк/л по данному нуклиду для водоёмов-охладителей) [19]. В 2018 г. значение среднегодовой объёмной активности трития в водоёмах-охладителях ниже, чем среднее значение за предыдущие 5 лет. Это связано с введением на КАЭС в 2007 г. полигона глубинного захоронения, что позволило значительно уменьшить сброс в водоёмы-охладители жидких отходов, содержащих радиоактивные вещества [19].

При этом согласно [18] на всей территории Российской Федерации объёмная активность трития в водах рек, рассчитанная по 15 пунктам на 11 реках, посте-

Объёмная активность Н-3 в водных объектах в районе расположения Калининской АЭС
Volumetric activity of Н-3 in water bodies in the area of the Kalinin NPP location

Пункт отбора пробы	Объёмная активность Н-3, Бк/л. (ЛВДК)			Объёмная активность Н-3, Бк/л. (ФМБЦ)
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2018 г.
оз. Песьво	13	11	11	10
оз. Удомля	14	12	11	7,2
оз. Кубыча	<10	<10	<10	< МДА
оз. в д/о «Сказка»	—	—	—	< МДА

Примечание: МДА=1 Бк/л
 Note: MDA=1 Bq/l

пенно уменьшавшаяся в последние годы, сохранилась в 2013–2019 гг. на уровне 1,6–1,9 Бк/л (2,6 Бк/л в 2012 г.). Объёмная активность трития в реках обусловлена его концентрацией в атмосферных осадках [18]. Среднегодовое значение объёмной активности трития в атмосферных осадках за период 2004–2018 годов составляло 1,6–2,8 Бк/л [18].

Таким образом, содержание трития в водных объектах формируется главным образом за счёт природного трития в атмосферных осадках (около 2 Бк/л). Поскольку площадь водосбора озёр большая, влияние трития от выбросов Калининской АЭС невелико. Повышенное содержание трития может быть в озере Песьво (устье сбросного канала). В озере Удомля (входной канал) также возможно повышенное содержание трития за счёт выбросов Калининской АЭС.

Результаты измерения удельной активности соединений трития в продуктах питания, выращенных в населённых пунктах, расположенных в районе расположения Калининской АЭС представлены в **таблице 3**.

Таблица 3 / Table 3

Удельная активность Н-3 продуктах питания в районе расположения КалАЭС
Specific activity of H-3 food products in the area of KalNPP location

Населённый пункт	Расстояние от АЭС, км	Продукт питания	Удельная активность образца, Бк/кг
д. Ряд	3,4	яблоко	380±50
д. Мишнево	5,7	морковь	280±40
		картофель	340±50
д. Лайково-Попово	6,3	огурец	200±20
д. Еремково	13,3	картофель	240±30
		огурец	220±30

Примечание: МДА=5 Бк/кг

Note: MDA=5 Bq/kg

Из **таблицы 3** видно, что содержание соединений трития в продуктах питания, выращенных в населённых пунктах, расположенных на берегу водоёмов-охладителей АЭС (д. Ряд и д. Мишнево), находится примерно на одном уровне. Активность соединений трития в продуктах питания, выращенных в д. Еремково и д. Лайково-Попово, оказалась несколько ниже, но того же порядка. Интересно то, что в картофеле, выращенном в этих населённых пунктах, содержание соединений трития близко к значениям удельной активности трития в картофеле, выращенном в населённых пунктах в районе Балаковской АЭС (исследования на данной АЭС проводились специалистами ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в 2015, 2017 и 2018 гг.). Эти станции идентичны по типу и количеству реакторов и различаются только технологиями обращения с дебалансными водами.

Результаты измерения удельной активности соединений трития в почве, отобранной в населённых пунктах, расположенных в районе расположения Калининской АЭС представлены в **таблице 4**.

Из **таблицы 4** видно, что активность трития в почве вокруг Калининской АЭС обнаруживается как в случае с продуктами питания в населённых пунктах, расположенных на берегу водоёмов-охладителей (д. Мишнево, д. Ряд и г. Удомля), так и в д. Еремково по направлению воздушных масс в соответствии с розой ветров.

Удельная активность соединений трития в почве, взятой в населённых пунктах, расположенных в районе Калининской АЭС

Specific activity of tritium compounds in soil taken from settlements located in the region of the Kalinin NPP

Населённый пункт	Расстояние от АЭС, км	Удельная активность образца, Бк/кг
АЭС	0	< МДА
АСКРО	<1	< МДА
д. Ряд	3,4	90
АЭС на выезде г. Удомля	4,3	80
д. Мишнево	5,7	120
д. Еремково	13,3	150

Примечание: МДА=5 Бк/кг

Note: MDA=5 Bq/kg

Из результатов, полученных при исследовании окружающей среды в районе расположения Калининской АЭС и представленные в **таблицах 1–4** видно, что активность трития обнаруживается во влаге воздуха, почве и в продуктах питания. При этом значения активности трития в поверхностных водах оказались на два порядка меньше, чем во влаге воздуха.

При отборе проб воздуха было установлено, что значения активности трития и его соединений в воздухе населённых пунктов вокруг Калининской АЭС, где были отобраны продукты питания и почва, оказались примерно на одном уровне — около 11 Бк/м³ (700 Бк/л). Чуть большее значение, 14 Бк/м³ (990 Бк/л), было зафиксировано в д. Еремково.

При этом в районе Калининской АЭС по данным Росгидромета [15] высокая доля западных ветров. Таким образом, можно предположить, что при эксплуатации АЭС значительная доля водяного пара, выбрасываемого через вентиляционную трубу станции, оседает на близлежащей территории (г. Удомля, д. Мишнево, д. Ряд, д. Лайково-Попово), в том числе и в д. Еремково, расположенной значительно дальше от АЭС, в связи с преобладанием западных ветров. Конечно, вода (водяной пар), выбрасываемый через вентиляционную трубу, сильно разбавляется атмосферной водой (дождь), но, тем не менее, формируется повышенное содержание трития в почве и в продуктах питания, выращенных в этой почве.

При формировании вклада в поступление соединений трития в продукты питания существенное значение имеет перенос выбросов (водяного пара, содержащего тритий) со станции воздушным путём и направление ветра, преобладающего на территории расположения АЭС.

Представленные оценки содержания трития в окружающей среде носят предварительный характер. Вместе с тем они указывают на необходимость учёта поступления трития и его соединений с выбросами атомной станции в окружающую среду в задаче оптимизации радиационной защиты населения в условиях нормальной эксплуатации АЭС. Полученные результаты определяют необходимость проведения системных исследований по накоплению трития в объектах окружающей среды.

Близкие значения удельной активности трития в картофеле, выращенном в районе расположения Калининской АЭС и Балаковской АЭС (станции идентичны по типу и

количеству реакторов и различаются только технологиями обращения с дебалансными водами), дают основания полагать, что эксплуатация однотиповых АЭС приводит к формированию одинакового содержания соединений трития в окружающей среде в районе расположения атомной станции.

В ходе обработки результатов измерений проб воздуха, отобранных с помощью нескольких разных приборов, был сделан вывод о том, что монитор МТ-1 для измерения

низких концентраций трития в воздухе является наиболее удобным и подходящим прибором для измерения активности трития в воздухе.

Разработанная «Методика определения удельной активности соединений трития в грунте и растительности» была аттестована и утверждена заместителем руководителя Федерального медико-биологического агентства В.В. Романовым от 27.12.2019 г. с присвоением номера МУК 4.3.047–2019.

Список литературы (п.п. 10, 11, 15 см. References)

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций»: НП-001-15. Москва: Ростехнадзор; 2016.
2. Акимов В.А., Владимиров В.А., Измаков В.И. *Катастрофы и безопасность*. Изд.: Деловой экспресс, г. Москва, 2006.
3. НП 019-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности.
4. А.А. Ключников, Э.М. Пазухин, Ю.М. Шигера, В.Ю. Шигера. *Радиоактивные отходы и методы обращения с ними*. г. Чернобыль; 2005.
5. Барчуков В.Г., Кочетков О.А., Кузнецова Л.И., Кабанов Д.И., Сурин П.П. Нормативно-методическое обеспечение контроля содержания органических соединений трития в объектах окружающей среды (современное состояние проблемы). *АНРИ*. 2018; 3.
6. Кочетков О.А., Монастырская С.Г., Кабанов Д.И. Проблемы нормирования техногенного трития (обзор). *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2013; 9(4): 815–19.
7. Постановление правительства РФ № 1316-р от 08.07.2015 г.
8. Екидин А.А., Жуковский М.В., Васянович М.Е. Идентификация основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС. *Биосферная совместимость: человек, регион, технология*. 2016; 2(120): 106–8.
9. Итоги 58 сессии научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР), 2011.
12. *Методические указания по методам контроля*. МУК 4.3.047 — 2017. «Методика определения концентрации органических и неорганических соединений трития в воздухе окружающей среды и производственных помещений»; 2017.
13. *Методические указания по методам контроля*. МУК 4.3.047 — 2012. «Методика определения объемной активности органических и неорганических соединений трития в водных объектах методом жидкосцинтилляционной спектрометрии». Аттестована ФГУП «ВНИИФТРИ». Свидетельство об аттестации методики радиационного контроля № 40090.2В370 от 20 марта 2012 года.
14. Методика МТ 1.2.1.15.002.0238-2014 «Выполнение измерений при радиационном контроле трития и углерода-14 в помещениях АЭС с применением расходомера-пробоотборника TASC-НТ-НТО-С14 (МВК)».
16. Руководство пользования прибором Tri-Carb 3180 TR/SL.
17. Руководство пользования прибором Pyrolyser-6 Trio.
18. *Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2018 году*. ФГБУ «НПО «ТАЙФУН», г. Обнинск; 2019.
19. СанПиН 2.6.1.2523-09. *Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009*.

References

1. Federal norms and rules in the field of atomic energy use "General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants": NP-001-15. Moscow: Rostekhnadzor; 2016.
2. Akimov V.A., Vladimirov V.A., Izmailov V.I. *Disasters and safety*. Publisher: Business Express, Moscow, 2006.
3. NP 019-2000. Collection, processing, storage and conditioning of liquid radioactive waste. Safety requirements.
4. Klyuchnikov A.A., Pazukhin E.M., Shiger Yu.M., Shiger V.Yu. *Radioactive waste and methods of handling them*. Chernobyl; 2005.
5. Barchukov V.G., Kochetkov O.A., Kuznetsova L.I., Kabanov D.I., Surin P.P. Regulatory and methodological support for monitoring the content of organic compounds of tritium in environmental objects (current state of the problem). *ANRI*. 2018; 3.
6. Kochetkov O.A., Monastyrskaya S.G., Kabanov D.I. Problems of regulation of technogenic tritium (review). *Saratovskij nauchno-meditsinskij zhurnal*. 2013; 9(4): 815–19.
7. Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1316-r dated 08.07.2015.
8. Ekin A.A., Zhukovsky M.V., Vasyanovich M.E. Identification of the main dose-forming radionuclides in NPP emissions. *Biوسفernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii*. 2016; 2(120): 106-8.
9. Results of the 58th session of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR); 2011.
10. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation* (2008 Report to the General Assembly, v. II with Annexes). Annexes D and E. — New York: United Nations; 2011.
11. *UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume I*. (Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B, 2008). United Nations sales publication E.10.XI.3. United Nations, New York, 2010.
12. *Guidelines for control methods*. МУК 4.3.047 — 2017. "Methodology for determining the concentration of organic and inorganic tritium compounds in the air of the environment and industrial premises"; 2017.
13. *Guidelines for control methods*. МУК 4.3.044 — 2012. "Method for determining the volumetric activity of organic and inorganic tritium compounds in water bodies by liquid scintillation spectrometry", 2012. Certified by FGUP VNIIFTRI. Radiation monitoring method attestation certificate No. 40090.2В370 dated March 20, 2012.
14. Methodology МТ 1.2.1.15.002.0238-2014 "Performing measurements during radiation monitoring of tritium and carbon-14 in NPP premises using a TASC-НТ-НТО-С14 (МВК) flow meter-sampler".
15. Available at: <https://world-weather.ru/archive/russia/udomlya/>
16. Instructions for using the Tri-Carb 3180 TR / SL device.
17. Instructions for using the Pyrolyser-6 Trio device.
18. *The radiation situation on the territory of Russia and neighboring states in 2018*. FSBI NPO TAIFUN, Obninsk; 2019.
19. SanPiN 2.6.1.2523-09. *Radiation safety standards NRB-99/2009*.