

УДК 539.163:574.6:614.876

МОНИТОРИНГ ТРИТИЯ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ г. ОЗЁРСК

© 2021 г. М. Я. Чеботина^{1,*}¹ Институт экологии растений и животных, Уральское отделение Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 02.04.2021 г.

После доработки 20.05.2021 г.

Принята к публикации 30.06.2021 г.

Представлены данные по мониторингу трития в районе расположения г. Озёрска Челябинской области, находящегося под воздействием Производственного объединения “Маяк”. Результаты обследования показали, что практически все исследуемые среды на территории г. Озёрска и прилегающей территории по содержанию в них трития превышают уровень техногенного фона, установленный для Уральского региона. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки метода очистки выбросов и сбросов трития предприятиями атомной промышленности для снижения риска для населения.

Ключевые слова: тритий, г. Озёрск, ПО “Маяк”, дождевые осадки, снег, озерная вода, питьевая вода, лед, моча людей

DOI: 10.31857/S0869803121050040

Вода служит важнейшим природным источником жизни на планете. Чистота водной среды от различного рода загрязнителей является необходимым условием нормального функционирования всех живых организмов, в том числе человека. Особенно остро проблема качества природной воды стоит в городах, расположенных в районах размещения крупных ядерно-энергетических объектов, где население, наряду с другими антропогенными факторами, подвергается воздействию радиации. Таким городом является Озёрск (площадь 657 км², население 83217 человек на 2018 г.) в Челябинской области на Южном Урале.

Возникновение Озёрска (1945 г.) тесно связано с реализацией Атомного проекта СССР. В рамках его выполнения на Урале в конце 1940-х годов было создано и успешно функционирует первое в стране предприятие атомной промышленности – ПО “Маяк”. Приоритетными направлениями деятельности предприятия являются выполнение оборонного заказа, регенерация облученного ядерного топлива и производство радиоактивных изотопов. Сегодня на ПО “Маяк” действуют два промышленных реактора, дающие возможность получать широкий спектр радиоактивных изотопов оборонного и гражданского назначения.

Одним из широко распространенных радиоактивных загрязнителей природных водных сред является тритий – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада ~12.3 года. В насто-

ящее время в результате глобального и техногенного загрязнения природной среды тритий встречается практически во всех водных средах и живых организмах [1–4]. Установившийся после прекращения массовых ядерных испытаний уровень концентраций трития в воде разных регионов нашей страны по данным ряда работ варьирует в пределах 4–7 Бк/л при среднем значении 5 Бк/л [5–7]. Этот показатель подтвержден нашими исследованиями для различных природных водных сред севера Свердловской области, где отсутствуют предприятия ЯТЦ [2]. Поэтому величина 5 Бк/л, обусловленная вкладом трития естественного происхождения и прежними термоядерными испытаниями, условно принята за уровень техногенного фона по данному радионуклиду для Уральского региона, где проводились исследования.

Целью настоящей работы является мониторинг трития в водных средах района расположения г. Озёрска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом исследования служили атмосферные выпадения, вода озер Иртыш, Б. Наноба, Кызылташ, истока р. Теча, водопроводная и замороженная вода, моча людей г. Озёрска и прилегающей к нему территории.

Город Озёрск расположен на южном берегу оз. Иртыш, одного из самых крупных озер Челя-

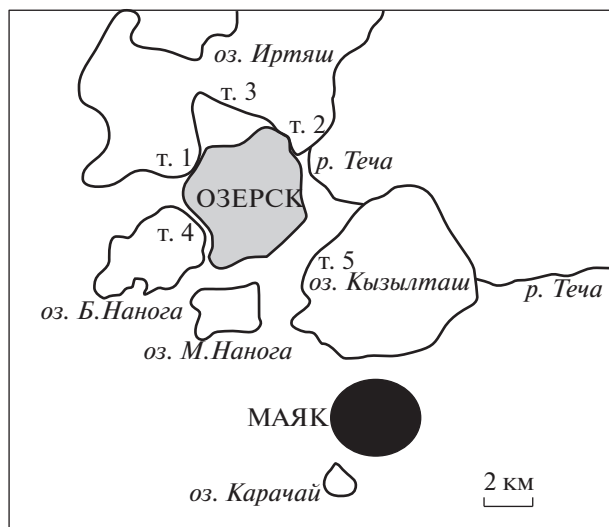


Рис. 1. Карта-схема расположения точек наблюдений на водоемах в районе г. Озёрска: Т. 1 – оз. Иртыш, б/о “Отважный”; т. 2 – оз. Иртыш в истоке р. Теча; т. 3 – оз. Иртыш, место забора воды для снабжения г. Озёрска питьевой водой (водопровод города); т. 4 – оз. Б. Наного; т. 5 – оз. Кызылташ.

Fig. 1. Schematic map of the location of observation points on water bodies in the area of Ozyorsk: p. 1 – lake Irtyash, b/o “Brave”; p. 2 – lake Irtyash at the source of the river Techa; p. 3 – lake Irtyash, a place of water intake for supplying Ozyorsk with drinking water (city water supply); p. 4 – lake B. Nanoga; p. 5 – lake Kyzyltash.

бинской области. Площадь озера ~60 км², глубина 12–22 м, водоем служит источником питьевого водоснабжения жителей г. Озёрска и основным поставщиком воды для нужд ПО “Маяк”. Озеро используется для отдыха жителей Озёрска и любительской ловли рыбы, на западном берегу озера находится большое количество баз отдыха.

На примыкающей к городу территории расположены оз. Большая Наного и промышленный водоем Кызылташ. Оз. Б. Наного (площадь 5.3 км², средняя глубина 4.2 м) расположено с юго-западной стороны от г. Озёрска и соединено протокой с оз. Иртыш. В результате сброса в водоем промышленных и бытовых стоков г. Кыштым вода озера загрязнена тяжелыми металлами, фосфатами, марганцем и прочими химическими веществами. Оз. Кызылташ (площадь 19 км², средняя глубина 3.4 м) находится примерно в 2 км от г. Озёрска и служит в качестве водоема-охладителя прамоточных ядерных установок ПО “Маяк”. Наряду с технологическим сбросом горячих вод в водоем поступают коммунальные стоки и ливневая канализация с промплощадок атомного предприятия и г. Озёрска. Водоем имеет мощный слой иловых донных отложений (до 8 м), в нем сконцентрировано в расчете на 1980 г. примерно 4030 ТБк радиоактивных веществ. В настоящее время оз. Кызылташ представляет собой храни-

лище радиоактивных отходов, которое находится в режиме самоочищения [8].

У северо-восточной окраины г. Озёрска протекает р. Теча. Она берет свое начало в оз. Иртыш, затем уходит за пределы города в промзону ПО “Маяк”. Между отрезком р. Теча на границе с оз. Иртыш и оз. Кызылташ в старом русле реки создан искусственный Буферный водоем, значительная часть которого представляет собой болото, заросшее тростником.

Схема исследуемой территории и расположение на ней точек отбора проб приведены на рис. 1. Различные этапы работы выполняли в период 2002–2017 гг. Дождевые и снеговые осадки собирали при помощи специально оборудованных емкостей, установленных на высоте 1 м от поверхности почвы. Озерную воду по 1 л на повторность отбирали из поверхностного слоя водного источника на глубину ~ 0–10 см. В этом же объеме отбирали питьевую воду в жилых помещениях города и воду из оттаявшего льда. Мочу людей собирали в лабораториях медицинских учреждений, а также непосредственно у жителей г. Озёрска. Предварительную подготовку проб для радиометрического анализа производили путем их дистилляции с перманганатом калия. Пробы мочи очищали трижды, остальные пробы – один раз. Для количественного определения трития использовали метод электролитического обогащения, подробно описанного в монографии [2]. Пробы из оз. Кызылташ анализировали без обогащения, остальные пробы – с использованием метода обогащения. Просчет проб осуществляли на установке “Дельта-300” (США) при ошибке β-счета прибора не более 5% и нижнем пределе обнаружения 3 Бк/л. Для оценки надежности результатов неоднократно проводили сверку методов, применяемых в Институте экологии растений и животных РАН и других научных организациях. Полученные результаты свидетельствуют о хорошей сходимости методов. В процессе обработки результатов мониторинга рассчитывали среднее значение из 2–3 повторностей природных проб и среднюю квадратическую ошибку по методу Стрелкова [9]. Статистическую обработку данных производили с использованием компьютерной программы Statistika 5.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Атмосферные осадки. На рис. 2 представлены данные мониторинга трития в атмосферных осадках г. Озёрска. Для сравнения на рисунке показаны значения концентраций радионуклида в осадках городов Чебаркуль и Екатеринбург, расположенных на расстояниях соответственно ~100 км на юго-восток и 120 км на юг от Озёрска. Среди указанных пунктов наблюдений наиболее высокие концентрации трития были зарегистрирова-

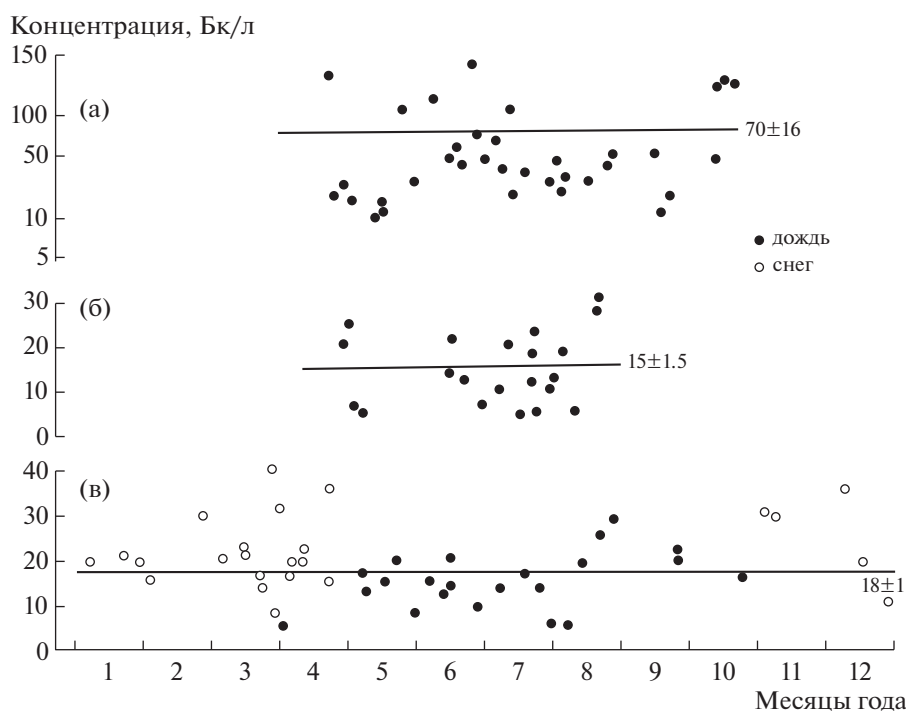


Рис. 2. Уровни концентраций трития в атмосферных осадках городов Озёрск (2007 г., а), Чебаркуль (2007 г., б) и Екатеринбург (2013 г., в).

Fig. 2. Tritium concentration levels in atmospheric precipitation in the cities of Ozyorsk (2007, a), Chebarkul (2007, b) and Yekaterinburg (2013, c).

ны в осадках г. Озерска, где в разные месяцы они изменялись от 11 до 430 Бк/л при среднем значении 70 ± 16 Бк/л. В то же время в г. Чебаркуль среднее значение концентраций трития в дождевых осадках (15 ± 1.5 Бк/л) было почти в 5 раз меньше, чем в Озёрске (разброс данных индивидуальных измерений от 5 до 28 Бк/л). В г. Екатеринбурге дождевые и снеговые осадки в 2013 г. содержали примерно в 4 раза меньше трития, чем осадки г. Озёрска (от 6 до 50 Бк/л при среднем значении 18 ± 1 Бк/л). Статистическая обработка данных показала достоверность различий по содержанию трития в осадках между городами Озёрск и Чебаркуль (уровень значимости $p = 0.01$), Озёрск и Екатеринбург ($p = 0.0004$) и отсутствие значимых различий между городами Чебаркуль и Екатеринбург ($p > 0.05$). Во всех пунктах наблюдений средние концентрации трития в осадках превышают уровень техногенного фона для Уральского региона.

Вода жилых помещений. Как было сказано выше, вода в жилые помещения г. Озёрска поступает через водопроводные трубы оз. Иртыш (рис. 1, т. 3). Исследование концентраций трития в водопроводной воде домов (табл. 1) и воде из замороженного в холодильнике льда (табл. 2) позволило установить, что содержание трития в обоих случаях варьирует от 10 до 150 Бк/л, однако средние

значения концентраций трития в воде из замороженного льда оказались примерно в 2 раза выше (96 ± 20 Бк/л), чем в водопроводной воде (44 ± 7 Бк/л). Статистическая обработка данных показала достоверность этого различия ($p = 0.003$). Двукратное различие по содержанию радионуклида в водопроводной воде и замороженной ледяной массе можно объяснить тем, что в водопроводную воду тритий поступает из оз. Иртыш, а в замороженную в холодильнике ледяную массу – преимущественно из воздушной среды помещений.

Вода в истоке р. Теча. Река Теча берет свое начало в оз. Иртыш в Озёрске (рис. 1, т. 2). Согласно результатам, представленным в табл. 3, концентрация трития в истоке р. Теча в период наблюдений варьировала от 20 до 130 Бк/л при среднем значении 69 ± 7 Бк/л. При этом индивидуальные значения концентраций от 4 до 26 раз превышали уровень техногенного фона, принятый для Уральского региона. Следует отметить, что в т. 2 (рис. 1) средняя концентрация трития оказалась на 40% выше, чем в водопроводной воде города, местом забора которой служит т. 3 оз. Иртыш. Статистическая обработка данных подтвердила достоверность этого различия ($p = 0.04$). Возможным объяснением этого может служить то обстоятельство, что т. 2 расположена ближе к оз. Кызылташ, чем т. 3. Поэтому испарение воды с поверхности во-

Таблица 1. Результаты мониторинга трития в водопроводной воде г. Озёрск
Table 1. Results of monitoring of tritium in the tap water of Ozyorsk

Время наблюдений	Концентрация, Бк/л	Время наблюдений	Концентрация, Бк/л
31.01.2002	21 ± 5	09.2010	95 ± 40
24.02.2002	23 ± 0.2	10.2010	94 ± 14
24.03.2002	18 ± 0.4	11.2010	28 ± 2
07.2003	47 ± 1	12.2010	37 ± 1
18.05.2004	35 ± 1	01.2011	24 ± 2
06.2004	43 ± 0.4	02.2011	27 ± 2
1.04.2005	50 ± 2	03.2011	10 ± 0.5
03.2010	10 ± 1	04.2011	24 ± 3
04.2010	115 ± 32	05.2011	19 ± 2
05.2010	154 ± 83	06.2011	39 ± 3
06.2010	87 ± 44	07.2011	34 ± 1
07.2010	53 ± 12	08.2011	19 ± 0.3
08.2010	39 ± 4	05.2016	10 ± 0.3

Таблица 2. Результаты мониторинга трития в замороженной воде жилых помещений
Table 2. Results of monitoring tritium in frozen water of residential premises

Время наблюдений	Концентрация, Бк/л	Время наблюдений	Концентрация, Бк/л
31.05.2004	87 ± 0.5	06.2010	149 ± 47
02.2010	107 ± 18	07.2010	11 ± 3
03.2010	120 ± 48	08.2010	87 ± 0.5
05.2010	108 ± 18	—	—

Таблица 3. Результаты мониторинга трития в воде источника р. Теча
Table 3. Results of monitoring of tritium in the water of the source of the r. Techa

Время отбора пробы	Концентрация, Бк/л	Время отбора пробы	Концентрация, Бк/л
03.2010	116 ± 22	02.2011	20 ± 1
04.2010	97 ± 38	03.2011	93 ± 1
05.2010	122 ± 48	04.2011	99 ± 1
07.2010	129 ± 27	05.2011	32 ± 2
08.2010	84 ± 10	06.2011	67 ± 2
09.2010	116 ± 3	07.2011	21 ± 1
10.2010	106 ± 22	08.2011	37 ± 1
12.2010	26 ± 0.5	09.2011	29 ± 1
01.2011	29 ± 1	12.2011	26 ± 0.5

доема-охладителя может внести определенный вклад в надфоновое загрязнение тритием этой части акватории оз. Иртяш. Кроме того, возможен подток загрязненной тритием воды из глубинных водных горизонтов, расположенных под Буферным водоемом и оз. Кызылташ.

Снеговая вода. На рис. 3 представлены значения концентраций трития в воде из снега, отобранного в разных местах территории г. Озёрска. Из рисунка видно, что содержание радионуклида в снеговой воде варьирует от 28 до 152 Бк/л при среднем значении 54 ± 13 Бк/л. Полученные данные превышают уровень техногенного фона для Уральского региона в среднем от 5 до 30 раз.

Вода озер Кызылташ, Б. Наного и Иртяш. В табл. 4 приведены результаты мониторинга трития в воде оз. Кызылташ (рис. 1, т. 5). В исследуемый период наблюдений содержание радионуклида в водоеме-охладителе варьировало от 3190 до 15330 Бк/л при среднем значении 6330 ± 1120 Бк/л. Данные свидетельствуют о высокой концентрации трития в воде оз. Кызылташ, которая не превышает уровень жидких радиоактивных отходов (1 млн Бк/л), а также в среднем ниже принятого в нашей стране уровня вмешательства, регламентирующего содержание радионуклида в питьевой воде — 7600 Бк/л [10, 11].

При эпизодическом измерении уровней концентраций трития в воде оз. Иртяш в районе б/о “Отважный” (т. 1, рис. 1) и Б. Наного (т. 4, рис. 1) в 2007–2016 гг. получены средние значения соответственно 19 и 32 Бк/л, которые были в 3–6 раз выше уровня техногенного фона и на несколько порядков величин ниже уровня вмешательства.

Моча людей. В табл. 5 приведены результаты наших исследований концентраций трития в моче жителей г. Озёрска и, для сравнения, г. Заречного, расположенного в зоне влияния Белоярской АЭС. Видно, что у людей, не работающих на предприятии, концентрации радионуклида в моче были заметно ниже, чем в среднем по совокупности испытуемых г. Озёрска. Испытуемые г. Заречного имели в среднем меньшие показатели концентраций трития в моче по сравнению с обеими категориями жителей г. Озёрска.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования позволили заключить, что уровни загрязнения тритием влагосодержащих сред в г. Озёрске и на прилегающей к нему территории (дождевые осадки, вода природных озер и водоема-охладителя ПО “Маяк”, снежного покрова, питьевая вода жилых помещений) в преобладающем большинстве случаев превышают величину техногенного фона, принятого для Уральского региона — 5 Бк/л.

Не вызывает сомнения тот факт, что в загрязнение тритием района г. Озёрска значительный вклад вносит оз. Кызылташ, расположенное в 2 км от города. Хотя средний уровень содержания трития в воде озера (6630 ± 1120 Бк/л) не достигает принятого в нашей стране уровня вмешательства, наличие водоема с подогретой и постоянно парящей водой на близком расстоянии от города способствует формированию надфоновых уровней концентраций радионуклида практически во всех влагосодержащих средах г. Озёрска.

Вторым существенным источником загрязнения города можно рассматривать постоянные воздушные выбросы трития в атмосферу от радиохимического производства по регенерации отработанного ядерного топлива с различных атомных электростанций и энергетических установок. Как было установлено ранее, в результате воздушных выбросов трития от реакторного производства ПО «Маяк» концентрация радионуклида в дождевой воде на площадках производства в отдельные периоды наблюдений достигала 1000–2000 Бк/л при средних значениях 800 Бк/л. Следствием этого были повышенные уровни концентраций трития в дождевых, снеговых выпадениях и замороженной воде в г. Озёрск, а также в более удаленных пунктах наблюдений в пределах 100-километровой зоны ПО «Маяк» (Новогорный, Касли) [12, 13].

Снег, как и дождевые осадки, проходя через воздушное пространство, поглощает тритий из воздуха и осаждает его на земной поверхности в ближних зонах от мест выброса. В течение всего зимнего периода снежный покров хорошо удерживает в себе поглощенный радионуклид, а в процессе снеготаяния тритий высвобождается из снеговой массы и включается в процессы миграции воды на прилегающих территориях. Исследования, проведенные в 30-километровой зоне ПО «Маяк» [14], показали, что повышенные уровни концентраций радионуклида в снежном покрове наблюдались в непосредственной близости от ПО «Маяк», особенно в северном и северо-восточном направлениях (до 260 Бк/л), что примерно в 50 раз превышает уровень техногенного фона. На каждом из четырех направлений от предприятия средние уровни концентраций трития снижались с увеличением расстояния от ПО «Маяк». В снеговой воде г. Озёрска, по данным настоящего исследования, содержание радионуклида от 5 до 30 раз превышает уровень техногенного фона для Уральского региона.

В результате мониторинга трития в воде оз. Иртяш были выявлены некоторые различия по содержанию радионуклида в различных точках наблюдений. В частности, в районе истока р. Теча (рис. 3, т. 3) содержание трития в воде в среднем оказалось в 1.5 раза выше, чем в районе забора пи-

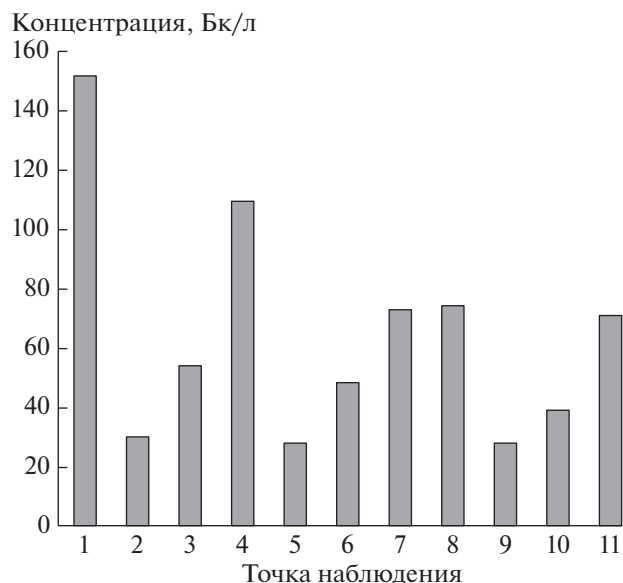


Рис. 3. Средние концентрации трития в снеговой воде г. Озёрска в различных точках наблюдений. 1–11 – точки наблюдений в пределах территории города.

Fig. 3. Average concentrations of tritium in the snow water of Ozyorsk at various observation points. 1–11 – observation points within the city.

тьевой воды (рис. 3, т. 2) и в среднем в 3 раза выше, чем около б/о «Отважный» (рис. 3, т. 1). Можно предположить, что на повышение концентраций трития в пробах воды в истоке р. Теча влияют воздушные испарения с поверхности близко расположенного водоема-охладителя Кызылташ, а также подток внутригрунтовых вод из Буферного водоема.

Содержание трития в моче людей является важным показателем качества среды обитания и варьирует в зависимости от места проживания и времени наблюдений, возраста, пола, места работы, наличия источников техногенного поступления трития и других факторов. Согласно результатам работы [15], в моче детей г. Озёрск в период

Таблица 4. Динамика концентраций трития в воде оз. Кызылташ

Table 4. Dynamics of tritium concentrations in lake water Kyzyltash

Дата отбора	Концентрация, Бк/л	Дата отбора	Концентрация, Бк/л
29.05.2007	4600	09.12.2008	8153 ± 396
05.12.2007	7044 ± 103	12.02.2009	6477 ± 103
18.01.2008	7161 ± 56	14.04.2009	3187 ± 200
30.06.2008	7010 ± 304	12.08.2009	7352 ± 60
18.08.2008	4651 ± 240	25.09.2009	7039 ± 1278
05.11.2008	3513 ± 216	05.05.2016	15330 ± 289

Таблица 5. Концентрации трития в моче жителей городов Озёрск и Заречный, Бк/л
Table 5. Concentrations of tritium in the urine of residents of the cities of Ozyorsk and Zarechny, Bq/l

Место наблюдений	Характеристика пробы	Год наблюдений	Количество обследованных людей	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
г. Озерск	Пробы из медицинских учреждений	2008	3	670	1000	834
г. Озерск	Пробы у жителей, не работающих на предприятии	2010	5	37	130	68
г. Заречный	Общая выборка из населения	2006–2015	13	7	105	42

с 1980 по 1998 г. концентрация трития составляла в среднем 1140–1460 Бк/л, а на прилегающих территориях (Касли, Тюбук) – 810–1160 Бк/л. У взрослых мужчин и женщин г. Озёрска, не работающих на предприятии, этот показатель находился на уровне 126 ± 10 Бк/л [16]. По данным работы [17], в моче людей, проживающих в зоне воздействия ПО “Маяк”, содержание трития снижалось с увеличением расстояния до предприятия (Озерск < Кыштым ≤ Татыш ≤ Метлино). В работе [18] выявлены два фактора, влияющие на уровень трития в моче жителей г. Озёрска – возраст и источник питьевого водоснабжения. При этом установлено, что уровень содержания радионуклида в моче взрослого населения в 2016 г. был в среднем выше, чем в моче детей.

Результаты выполненной работы подтверждают, что жители г. Озёрска подвергаются хроническому воздействию трития, о чем свидетельствуют повышенные по сравнению с уровнем техногенного фона уровни содержания радионуклида в моче испытуемых. Полученные данные свидетельствуют о необходимости разработки методов очистки выбросов и сбросов трития для снижения рисков для населения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит А.И. Смагина и Е.Л. Мурашову за помощь в отборе проб.

Исследование выполнено по теме госзадания Института экологии растений и животных УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Okada S., Momoshima M. Overview of tritium: characteristics, sources, and problems // *Healths Phys.* 1993. V. 65. № 6. P. 595–609.
2. Чеботина М.Я., Николин О.А. Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 90 с. [*Chebotina M. Ya., Nikol'in O. A. Radioekologicheskie issledovaniya tritiya v*

- Ural'skom regione. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005. 90 s. (in Russian)]
3. Соيفер В.Н., Горячев В.А., Вакуловский С.М., Каптрич И.Ю. Тритиевые исследования природных вод в России. М.: ГЕОС, 2008. 286 с. [*Sojfer V.N., Goryachev V.A., Vakulovskij S.M. i dr. Tritievye issledovaniya prirodnyh vod v Rossii.* М.: GEOS, 2008. 286 s. (in Russian)]
4. Балонов М.И., Чипига Л.А. Оценка дозы поступления окиси трития в организм человека: роль включения трития в органическое вещество тканей // *Радиац. гигиена.* 2016. Вып. 9. № 4. С. 16–24. [*Bal'nov M.I., Chipiga L.A. Ocenka dozy postupleniya okisi tritiya v organizm cheloveka: rol' vkl'yucheniya tritiya v organicheskoe veshchestvo tkanej // Radiacionnaya gigiena.* 2016. Vyp. 9. № 4. S. 16–24 (in Russian)]
5. Дельвин Н.Н., Иванов А.Б., Крылов В.А. и др. Изучение содержания трития в водных объектах и приземной атмосфере в районе Калининской АЭС // *Экология регионов атомных станций.* М.: НИО ЭАС “Атомэнергопроект”, 1996. 264–273. [*Del'vin N.N., Ivanov A.B., Krylov V.A. i dr. Izuchenie soderzhaniya tritiya v vodnyh ob'ektah i prizemnoj atmosfere v rajone Kalininskoj AES // Ekologiya regionov atomnyh stancij.* М.: NIO EAS “Atomenergo-proekt”, 1996. 264–273 (in Russian)]
6. Гудков Д.И. Динамика содержания трития в пойменных водоемах р. Припять и пруде-охладителе Чернобыльской АЭС // *Радиац. биология. Радиоэкология.* 1999. Вып. 39. № 6. С. 605–608. [*Gudkov D.I. Dinamika soderzhaniya tritiya v pojmennyh vodoemah r. Pripyat' i prude-ohladiтеле Chernobyl'skoj AES // Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya.* 1999. Vyp. 39. № 6. S. 605–608 (in Russian)]
7. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств / Под ред. С.М. Вакуловского. Обнинск: НПО “Тайфун”, 2007–2015. [*Radiacionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nyh gosudarstv / Pod red. S. M. Vakulovskogo. Obninsk: NPO “Tajfun”, 2007–2015 (in Russian)]*
8. Смагин А.И. Экология промышленных водоемов предприятия ядерного топливного цикла на Южном Урале. Озёрск: Ред.-изд.центр ВРБ, 2007. 190 с. [*Smagin A.I. Ekologiya promyshlennyh vodoemov predpriyatiya yadernogo toplivnogo cikla na*

- Yuzhnom Urale. Ozyorsk: Redakcionno-izdatel'skij centr VRB, 2007. 190 s. (in Russian)]
9. *Стрелков Р.Б.* Метод вычисления стандартной ошибки и доверительных интервалов средних арифметических величин с помощью таблицы. Сухуми: Алашара, 1966. 15 с. [*Strelkov R.B.* Metod vy'chisleniya standartnoj oshibki i doveritel'ny'kh intervalov srednikh arifmeticheskikh velichin s pomoshh'yu tabliczy'. Sukhumi: Alashara, 1966. 15 s. (in Russian)]
 10. Постановление правительства РФ от 19.10.2012 № 1069. [Postanovlenie pravitel'stva RF ot 19.10.2012 № 1069 (in Russian)]
 11. НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. Приложение 2а. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с. [NRB-99/2009. Sanitarnye pravila i normativy. SanPIN 2.6.1.2523-09. Prilozhenie 2a. M.: Federal'nyj centr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2009. 100 s. (in Russian)]
 12. *Чеботина М.Я., Николин О.А., Мурашова Е.Л.* Поступление трития на земную поверхность с дождевыми осадками // Водное хозяйство России. 2012. № 5. С. 76–87. [*Chebotina M.Ya., Nikolin O.A., Murashova E.L.* Postuplenie tritiya na zemnyuyu poverhnost' s dozhdevymi osadkami // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2012. № 5. S. 76–87 (in Russian)]
 13. *Янов А.Я., Востротин В.В., Финашов Л.В.* Тритий в окружающей среде Уральского региона: Обзор современного состояния и анализ перспектив изучения с позиций радиологической защиты // Человек. Спорт. Медицина. 2016. Т. 16. № 2. С. 85–99. [*Yanov A.Ya., Vostrotin V.V., Finashov L.V.* Tritij v okruzhayushchej srede Ural'skogo regiona: Obzor sovremennogo sostoyaniya i analiz perspektiv izucheniya s pozitsij radiologicheskoy zashchity // Chelovek. Sport. Medicina. 2016. T. 16. № 2. S. 85–99 (in Russian)]
 14. *Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И.* Тритий в снеговом покрове в зонах воздействия предприятий ядерно-топливного цикла на Урале // Водное хозяйство России. 2014. № 2. С. 102–113. [*Chebotina M.Ya., Nikolin O.A., Smagin A.I.* Tritij v snegovom pokrove v zonah vozdejstviya predpriyatij yaderno-toplivnogo cikla na Urale // Vodnoe hozyajstvo Rossii. 2014. № 2. S. 102–113 (in Russian)]
 15. *Демин С.Н.* Тритиевая проблема – гигиенические аспекты // Тритий – это опасно. Челябинск: Челябинский Дом печати, 2001. С. 13–21. [*Demin S.N.* Tritievaya problema – gigenicheskie aspekty // Tritij – eto opasno. Chelyabinsk: Chelyabinskij Dom pechati, 2001. S. 13–21 (in Russian)]
 16. *Мурашова Е.Л., Чудин В.А.* Оценка содержания трития в организме взрослого населения города Озёрска // Вопр. радиац. безопасности. 2002. № 4. С. 57–60. [*Murashova E.L., Chudin V.A.* Ocenka sodержaniya tritiya v organizme vzroslogo naseleniya goroda Ozyorska // Voprosy radiacionnoj bezopasnosti. 2002. № 4. S. 57–60 (in Russian)]
 17. *Chebotina M.Ya., Nikolin O.A.* The Current Tritium Concentrations in Human Urine in the Area of Nuclear Fuel Cycle Facilities // Doklady Akademii Nauk. 2012. 447 (6). P. 691–692.
 18. *Финашов Л.В., Востротин В.В., Янов А.Ю.* Тритий в моче у жителей города Озёрска Челябинской области в 2016 г. // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 3. С. 42–49. [*Finashov L.V., Vostrotin V.V., Yanov A.Yu.* Tritij v moche u zhitelej goroda Ozyorska Chelyabinskoy oblasti v 2016 g. // Radiacionnaya gigiena. 2019. T. 12. № 3. S. 42–49 (in Russian)]

Monitoring of Tritium in the Area of Ozyorsk Location

M. Ya. Chebotina^{a, #}

^a Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

[#]E-mail: Chebotina@ipae.uran.ru

The paper presents the results of monitoring tritium in various types of water environments in the area of the city of Ozyorsk, Chelyabinsk region, which is under the influence of the Production Association “Mayak”. An excess of the level of the technogenic background of the radionuclide was revealed in all the studied water bodies (rain, snow, lake water, drinking water of the city, ice). A significant excess of tritium concentrations in rainfall in the city of Ozyorsk was found in comparison with the control territories (Chebarkul, Yekaterinburg). The difference in the levels of tritium content in the city's tap water and frozen water in the refrigerators of residential premises is shown, which can be explained by different sources of the radionuclide entering the indicated aquatic environments. Elevated concentrations of tritium in the urine of residents of the city of Ozyorsk were revealed as a result of above-background contamination of the water environment of the study area with radionuclide. These studies indicate the need to develop methods for treating emissions and discharges of tritium into the environment to reduce risks to public health.

Keywords: tritium, Ozyorsk, PA “Mayak”, rainfall, snow, lake water, drinking water, ice, urine of people