

Тритий в моче людей в зоне влияния Белоярской АЭС

М.Я. Чеботина¹, О.А. Николин¹, Л.Г. Бондарева^{2,3}, В.Н. Ракитский²

¹ Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

² Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора, Мытищи, Россия

³ Сибирский федеральный университет, Министерство образования и науки Российской Федерации, Красноярск, Россия

Цель исследования. Выявить зависимости содержания трития в биологических жидкостях (моче) людей, проживающих в зоне действия Белоярской атомной станции, от концентрации трития в питьевой воде. Материалы и методы. Исследуемое население (мужчины и женщины). Образцы мочи были получены в клинической лаборатории медсанчасти г. Заречный. Количество испытуемых составляло 50 человек. Пациенты различались по возрасту и полу. Пробы воды отбирались произвольно, в течение всего времени проведения исследований, т.е. с января по ноябрь 2015 г. Режим отбора и определения содержания трития был произвольный, но не реже двух раз в месяц. Содержание трития в исследуемых пробах измеряли с использованием жидкостно-сцинтилляционного спектрометра низкофонового альфа-бета-радиометра Quantuluse-1220 (США). Для выделения трития использована установка, разработанная Л.Г. Бондаревой и позволяющая отделить матрицу, в значительной степени влияющую на определение содержания трития. Результаты. Исследована моча населения, проживающего в зоне влияния Белоярской АЭС, в городском поселении Заречный. Во всех случаях выявлена зависимость концентраций трития в моче от содержания трития в питьевой воде. Установлена высокодостоверная корреляционная связь между исследуемыми параметрами (коэффициент корреляции 0,98; уровень значимости 0,007). Определены, в соответствии с расчетами, приведенными в работе Harrison, Khursheed, Lambert, значения индивидуальных доз для населения. Значения дозы варьируются в интервале 0,32–1,2, при учете потребления 100 л/месяц питьевой воды (согласно нормативам потребления питьевой воды для исследуемого региона), что составляет 0,032–0,12% от предела дозы для населения (1 мЗв/год). Установлено, что радионуклид поступает в организм людей данного региона преимущественно из питьевой воды. Полученные значения значительно меньше уровня вмешательства для трития, приведенного в НРБ-99/2009, приложение 2а, значение которого составляет 7600 Бк/л.

Ключевые слова: тритий, моча, люди, жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия, Белоярская АЭС, азеотропная смесь.

Введение

β -частица ^3H обладает низкой проникающей способностью (максимальный пробег в воздухе при нормальных условиях 5,4 мм и 6,5 мкм в биологической ткани) и при внешнем облучении полностью поглощается в верхних слоях покровов организмов [1]. Наиболее опасен радионуклид как источник внутреннего облучения при поступлении в организм.

Обладая наименьшей из всех радиоизотопов энергией β -частиц, ^3H создает значительную плотность ионизации тканей (число пар ионов, образуемых заряженной частицей на единице ее пути). Кроме того, пробег β -частицы ^3H значительно меньше геометрических размеров клеток, поэтому действие ^3H локализуется возле самого источника, и общий биологический эффект зависит от гео-

метрии его распределения в тканях организма и микрогеометрии распределения в клетке [2, 3]. Окись трития (тригидратная вода) хорошо всасывается через неповрежденную кожу и слизистые. Распределяется он быстро и равномерно в жидкой фазе организма и частично депонируется в виде более прочно фиксируемой в органических соединениях фракции, биологическое значение ее неясно.

Период биологического полувыведения тритийсодержащей воды колеблется от 9 до 14 сут для разных людей (в среднем 12 сут) [4, 5]. Такие уровни облучения персонала наблюдались в ранние сроки освоения ядерных технологий как в плановых, так и в аварийных ситуациях. При всех способах попадания в организм тригидратная вода очень легко проникает в плазму крови и приходит в равновесие со всеми жидкостями тела.

Бондарева Лидия Георгиевна

Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора.

Адрес для переписки: 141014, Россия, Московская область, Мытищи, ул. Семашко, д. 2. E-mail: lydiabondareva@gmail.com

В настоящее время основной метод контроля эффективной дозы внутреннего облучения людей от трития предполагает исследование содержания радионуклида в моче или в конденсате паров воды из выдыхаемого воздуха [3, 6]. Поэтому изучение закономерностей поступления трития в организм человека в районах размещения предприятий ЯТЦ является важной научной и практической задачей.

Цель исследования – выявить зависимости содержания трития в биологических жидкостях (моче) людей, проживающих в зоне действия Белоярской атомной станции, от концентрации трития в питьевой воде.

Задачи исследования

1. Проведение измерений содержания трития в моче населения, проживающего в городском поселении г. Заречном, в непосредственной близости от атомной станции.
2. Выявить возможную корреляцию между содержанием трития в питьевой воде и моче.

Материалы и методы

В настоящей работе местом исследования служила территория Белоярской АЭС. Объектом исследования была моча местного населения, жителей г. Заречный. Образцы были получены в клинической лаборатории медсанчасти городского поселения. Количество испытуемых составляло 50 человек. Пациенты различались по возрасту и полу. Исследования проводились в период с января по ноябрь 2015 г.

Исследования проводились среди подростков в возрасте 15–18 лет, а также среди взрослого трудоспособного населения, в возрастных интервалах 20–25, 27–39 и 45–57 лет. Возрастные группы были составлены в соответствии с испытуемым персоналом, согласившимся выступить в качестве добровольцев, без каких либо предпочтений исследователей. Для исследований были предоставлены пробы мочи объемом 200 мл. Все испытуемые проживают в г. Заречном. Данные по содержанию трития в пробах питьевой воды из системы городского водоснабжения были получены непосредственно нами, а также использованы статистические результаты, приведенные в работах М.Я. Чеботиной и др., где также описываются источники водоснабжения исследуемого региона [7, 8]. Пробы воды отбирались произвольно, в течение всего времени проведения исследований, т.е. с января по ноябрь 2015 г. Режим отбора и определения содержания трития был произвольный, но не реже двух раз в месяц. Отбор производился из одних и тех же источников водоснабжения (т.е. одни и те же пункты: квартиры, административные учреждения), в одно и то же время.

В лаборатории пробы мочи подвергали очистке. Для устранения матрицы, содержащей значительное количество солей, пробы мочи очищались методом отгонки азеотропной смеси с толуолом на установке, созданной автором статьи [9, 10]. После отделения матрицы водный раствор очищали от возможных окрашенных соединений для устранения эффекта гашения в соответствии с проведенными ранее исследованиями [11] и с рекомендациями [12, 13].

Пробы воды не требовали дополнительной очистки и непосредственно перед измерением фильтровались через мембранный фильтр, с диаметром пор 0,45 мкм.

Перед измерениями в чистые виалы наливали сцинтилляционный коктейль Ultima Gold AB ($V = 12$ мл). Охлаждали до заданной температуры в отсутствие света. Затем пипеткой отбирали необходимый объем исследуемого образца ($V = 8$ мл) и вводили в виалу. Виалу закрывали пробкой и встряхивали до полного смешивания пробы со сцинтилляционным коктейлем. Перед измерениями смесь выдерживалась в темном и прохладном месте в течение 24 ч для стабилизации люминесценции.

Стандартные и фоновые пробы готовили одновременно с основными пробами, чтобы свести к минимуму ошибку измерения. Время измерения исследуемых проб составляло 8–24 ч.

Содержание трития в исследуемых пробах измеряли с использованием жидкостно-сцинтилляционного спектрометра низкофонового альфа-бета-радиометра Quantulus-1220, производства Perkin Elmer (США).

Все полученные результаты подвергались статистической обработке, согласно руководству Другова и Родина [14].

Рассчитывали среднее значение из каждой совокупности данных по каждому определяемому параметру:

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

где X – значение определяемого параметра, n – количество измерений, X_{cp} – среднее значение измеряемого параметра.

Далее рассчитывали среднеквадратичную ошибку вызванную разбросом экспериментальных данных:

$$S_x^2 = \frac{1}{(n-1)n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2$$

После этого, используя значение коэффициента Стьюдента ($t_{ан}$), при доверительной вероятности $p=0,95$, при $n=2-3,4$, при $5-2,8$ и т.д. при $n=12-2,1$. Рассчитывали доверительный интервал по следующей формуле:

$$\Delta = t_{ан} \cdot \sqrt{S_x^2}$$

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены результаты определения трития в моче исследуемых людей разного пола и возраста. Приведенные результаты получены для всех групп в одинаковые временные интервалы. В период всего исследования принимали участие одни и те же люди, за незначительными единичными исключениями, что практически не повлияло на общее количество испытуемых.

Как видно из представленных результатов, среднее содержание трития в пробах мочи варьируется от 12 до 65 Бк/л, общее среднее составляет ~ 39 Бк/л. При этом различие содержания трития в пробах мочи мужчин и женщин, отобранных в один и тот же период времени, было незначимым, т.е. находилось в пределах статистической погрешности. Полученные результаты, представленные в таблице 1, указывают на наличие определенной зависимости содержания трития от возраста. Так, в группе испытуемых в возрастной группе 15–25 лет среднее содержание трития составляет ~ 21 Бк/л, тогда как в более старшей группе среднее содержание трития в моче составляло ~ 57 Бк/л.

Таблица 1

Средняя концентрация трития в пробах мочи исследуемых лиц, г. Заречный, и доверительный интервал ($\pm\Delta$)

[Table 1]

Average tritium urine concentration in samples of studying population, Zarechny town, confidence interval ($\pm\Delta$)

Возраст [Age]	15–18 лет [15–18 years old]		20–25 лет [20–25 years old]		27–39 лет [27–39 years old]		45–57 лет [45–57 years old]	
	Пол (число лиц) [Sex (Number of persons)]	Мужской [Man] (3)	Женский [Female] (2)	Мужской [Man] (7)	Женский [Female] (2)	Мужской [Man] (10)	Женский [Female] (12)	Мужской [Man] (5)
$C_{cp} (^3H) \pm \Delta, Bq/l$ $Bq l^{-1}$	31 \pm 17	23 \pm 19	19 \pm 9	12 \pm 3	65 \pm 21	50 \pm 12	60 \pm 15	55 \pm 17

В таблице 2 приведены результаты определения трития в питьевой воде, отобранной в водопроводной системе г. Заречный в период исследования.

На рисунке приведена корреляционная зависимость между средней концентрацией трития в пробах мочи исследуемых лиц в определенный период и средней концентрацией трития в питьевой воде в этот же период (на основании среднестатистических исследований по г. Заречный и собственных результатов). Возрастные группы были составлены в соответствии с испытуемым персоналом, согласившимся выступить в качестве добровольцев, без каких-либо предпочтений исследователей.

В исследуемый период содержание трития в питьевой воде варьировалось в интервале от 15 до 55 Бк/л. Соотношение между содержанием трития в моче и питьевой воде составило 0,979, уровень значимости 0,007.

Статистическая обработка всей совокупности данных с помощью компьютерной программы Statistica по методу Фишера позволила установить наличие достоверной прямой корреляционной связи между концентрацией трития в моче людей и концентрацией трития в питьевой воде, что не противоречит полученным ранее данным для других исследований по представленной теме [13, 15–18].

В связи с тем, что тритий, поступивший в виде тритиевой воды (НТО), достаточно быстро выводится. При этом в организме протекают быстрые физиологические процессы, связанные с обменом тритиевой воды с жидкостью организма, в частности с переводом в продукты выделения – мочу.

Определены, в соответствии с расчетами, приведенными в работе Harrison, Khursheed, Lambert [6], значения индивидуальных доз для населения. Значения дозы варьируются в интервале от 0,32–1,2 мкЗв/год, при учете потребления 100 л/месяц питьевой воды (согласно нормативам потребления питьевой воды для исследуемого региона), что составляет 0,032–0,12% от предела дозы для населения (1 мЗв/год) [6].

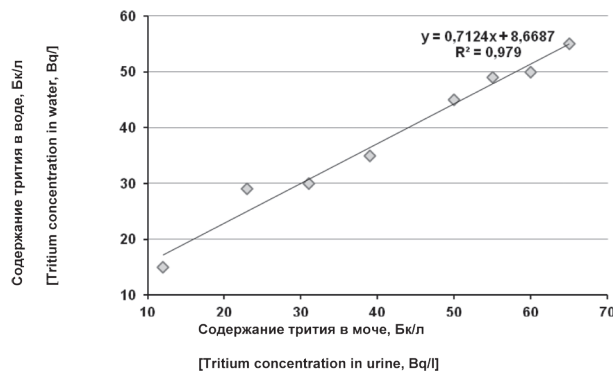


Рис. Корреляционная зависимость между содержанием трития в моче и питьевой воде

[Fig. 1. Relationship between tritium concentrations in urine and drinking water]

Заключение

Результаты представленных исследований показывают следующее.

В зоне, расположенной вблизи предприятия ЯТЦ – Белоярской АЭС, уровень содержания трития в водной среде (питьевая вода и моча человека), полученные значения значительно меньше уровня вмешательства для трития, приведенного в НРБ-99/2009, приложение 2а, значение которого составляет 7600 Бк/л. При этом подтверждена прямая зависимость между содержанием трития в питьевой воде и моче человека. Авторами подтверждены полученные ранее данные об основном источнике поступления трития в организм человека через питьевую воду.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект 05-16-00205.

Таблица 2

Средняя концентрация трития в питьевой воде в январе – ноябре 2015 г. и доверительный интервал ($\pm\Delta$)

[Table 2]

Average tritium drinking water concentration in January – November, 2015 and confidence interval ($\pm\Delta$)

Месяц [Month]	Содержание трития в питьевой воде, Бк/л [Concentration of tritium in drinking water, Bq l ⁻¹]										
	Январь [January]	Февраль [February]	Март [March]	Апрель [April]	Май [May]	Июнь [June]	Июль [July]	Август [August]	Сентябрь [September]	Октябрь [October]	Ноябрь [November]
$C_{cp} \pm$	15 \pm 3	16 \pm 2	21 \pm 4	18 \pm 3	32 \pm 6	55 \pm 5	53 \pm 3	42 \pm 7	34 \pm 5	19 \pm 6	27 \pm 4

Литература

1. Москалев, Ю.И. Окись трития / Ю.И. Москалев. – М.: Атомиздат, 1968. – 256 с.
2. Иваницкая, М.В. Источники поступления трития в окружающую среду / М.В. Иваницкая, А.И. Малофеева // Тритий – это опасно. – Челябинск, 2001. – С. 22–29.
3. Балонов, М.И. Дозиметрия и нормирование трития / М.И. Балонов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 149 с.
4. Радиационная медицина: руководство: в 4 т. / под ред. Л.Н. Ильина. – М.: ИздАТ, 2004. – Т.1: Теоретические основы радиационной медицины. – 988 с.
5. Robin L., Hiland J., Jonson R. Metabolism and dosimetry of tritium. *Health Phys*, 1993, 65 (6), pp. 628–647.
6. Harrison J.D. Khursheed A., Lambert B.E. Uncertainties in dose and coefficients for intakes of tritiated water and organically bound forms of members of the public. *Radiation Protection Dosimetry*, 2002, Vol. 98, No 3, pp. 299–311.
7. Chebotina M. Y. Nicolin O. A. Tritium in water systems of Ural region. Radiation risk estimates in normal and emergency situations. Ed.: A. A. Cigna M. Durante. Dordrecht, Springer, 2006, pp. 187–196.
8. Чеботина, М.Я. Миграция трития от предприятий ядерного технологического цикла в источники питьевого водоснабжения на Урале / М.Я. Чеботина, О.А. Николин // Водное хозяйство России. – 2013. – № 4. – С. 90–100.
9. Bondareva L. Natural Occurrence of Tritium in the Ecosystem of the Yenisei River. *Fusion Science and Technology*. 2011, Vol. 60, No 4, pp. 1304–1307.
10. Bondareva L.G. Tritium content of some components of the middle Yenisei ecosystem. *Radiochemistry*, Vol. 57, Issue 5, pp. 557–563.
11. Бондарева, Л.Г. Изучение влияния различных типов тушения на эффективность измерений трития в объектах окружающей среды / Л.Г. Бондарева, Н.В. Помозова // Журнал СФУ. Химия. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 56–60.
12. Методы измерения трития. Рекомендации Национального комитета по радиационной защите и измерениям США. – М.: Атомиздат, 1978. – 91с.
13. Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений: метод. руководство: в 2 т. / под общ. ред. В.И. Гришмановского. – М.: Энергоиздат, 1980 – Т.2: Индивидуальный контроль; Радиометрия проб. – 204 с.
14. Другов, Ю.С. Пробоподготовка в экологическом анализе / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 855 с.
15. Schell W. R., Gauzay G., Payne W. R. World distribution of environmental tritium. *Phys. Behav. Radioactive Contaminated Atmos. Vienna*, 1974, pp. 375.
16. Baumgartner F., Kim M.A Tritium – protium fractionation near and inside DNA. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2000, Vol. 243, No 2, pp. 295–298.
17. Baumgartner F., Kardinal Ch., Mullen G. Distribution of tritium between water and exchangeable hydrogen bridges of biomolecules. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 2001, Vol. 249, No 2, pp. 513–517.
18. Чеботина, М.Я. Современные уровни концентраций трития в моче людей в зоне предприятий ядерно-топливного цикла / М.Я. Чеботина, О.А. Николин // Доклады Академии Наук. – 2012. – Т. 447, № 6. – С. 1–2.
19. ICRP, 1997. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (preface and glossary missing). ICRP Publication 78. *Ann. ICRP* 27 (3-4).

Поступила: 30.06.2016 г.

Чеботина Маргарита Яковлевна – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей радиозологии Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Николин Олег Анатольевич – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории общей радиозологии Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Бондарева Лидия Георгиевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела аналитических методов контроля Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 141071, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Семашко, д. 2; e-mail: lydiabondareva@gmail.com

Ракитский Валерий Николаевич – академик РАН, и.о. директора Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Московская область, г. Мытищи, Россия

Для цитирования: Чеботина М.Я., Николин О.А., Бондарева Л.Г., Ракитский В.Н. Тритий в моче людей в зоне влияния Белоярской АЭС // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 87–92. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-87-92

Tritium in urine of people living in the area of influence of the Beloyarskaya NPP

Margarita Ya. Chebotina¹, Oleg A. Nikolin¹, Lidiya G. Bondareva^{2,3}, Valeriy N. Rakitsky²

¹ Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

² Federal Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Mytishchi, Moskovskiy region, Russia

³ Siberian Federal University, the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Krasnoyarsk, Russia

Abstract

The goal of the research is to determine relationship between tritium concentration in the body fluid (urine) of people living in the area of influence of the Beloyarskaya NPP and tritium concentration in drinking water. Materials and methods. Studed population (men and women). Urine samples were collected in the clinical laboratory of a medical unit in Zarechny town. There were 50 individuals in the studied group. Patients were different on age and weight. Water samples were collected in an arbitrary way, through the all study period, from October to November in 2015 year. Tritium concentrations were determined with the ultra-low level liquid scintillation spectrometer Quantulus-1220 (USA). The facility developed by L.G. Bondareva was used for tritium extraction. The method allows to separate the template, which significantly effects determination of tritium. Results. The urine samples from people living in the area of influence of the Beloyarskaya NPP in Zarechny town were analyzed in the study. There was positive relationship between tritium concentration in drinking water and tritium concentration in urine. Statistically significant correlation between analyzed parameters was found (correlation coefficient 0.98; significance level 0,007). Individual doses were estimated according to Harrison, Khursheed, Lambert. The Doses vary from 0,32 to 1,12 with an allowance for consumption of drinking water 100 l y⁻¹ (according to the consumption standard for the analyzed region), which amounts 0,032–0,12 % from dose limit for population (1 mSv y⁻¹). It was determined what drinking water is the main source of the radionuclide in human body in this region. The determined values of tritium concentration in drinking water are significantly lower than the intervention level for tritium of 7600 Bq l⁻¹ (Radiation Safety Standards-99/2009, Appendix 2a).

Key words: tritium, urine, human, liquid scintillation spectrometry, Beloyarskaya NPP, azeotropic mixture.

References

1. Moskalev Yu.I. Tritium oxide. M., Atomizdat., 1968, 256 p. (In Russ.)
2. Ivanitskaya M.V., Malofeeva A.I. Sources of tritium in environment. Tritium is dangerous. Chelyabinsk, 2001, pp. 22-29. (In Russ.)
3. Balonov M.I. Tritium dosimetry and regulation, M., Energoatomizdat, 1983, 149 p. (In Russ.)
4. Radiation medicine. Theoretical basis of radiation medicine. M., IzdAT, 2004, Vol. 1, 988 p. (In Russ.)
5. Robin L., Hiland J., Jonson R. Metabolism and dosimetry of tritium. Health Phys, 1993, 65 (6), pp. 628-647.
6. Harrison J.D., Khursheed A., Lambert B.E. Uncertainties in dose and coefficients for intakes of tritiated water and organically bound forms of members of the public. Radiation Protection Dosimetry, 2002, Vol. 98, No 3, pp. 299-311.
7. Chebotina M.Y., Nicolin O. A. Tritium in water systems of Ural region. Radiation risk estimates in normal and emergency situations. Ed.: A. A. Cigna M. Durante. Dordrecht, Springer, 2006, pp. 187-196.
8. Chebotina M.Ya., Nikolin O.A. Tritium Migration from Nuclear Fuel Enterprises to Drinking Water Sources in the Urals. Vodnoe khozyaystvo Rossii = Water sector of Russia, 2013, № 4, pp. 90-100. (In Russ.)
9. Bondareva L. Natural Occurrence of Tritium in the Ecosystem of the Yenisei River. Fusion Science and Technology. 2011, Vol. 60, No 4, pp. 1304-1307.
10. Bondareva L.G. Tritium content of some components of the middle Yenisei ecosystem. Radiochemistry, Vol. 57, Issue 5, pp. 557-563.
11. Bondareva L.G., Pomozova N.V. Investigation of the Influence of Various Quenching Types on Efficiency of Measuring Tritium in Environmental Objects Journal of Siberian Federal University. Khimiya = Chemistry, 2009, Vol. 2, № 1. pp. 56-60. (In Russ.)
12. Tritium measurement techniques. Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements of the USA., M., Atomizdat, 1978, 91p. (In Russ.)
13. Dosimetric and radiometric control in nuclear work and work with radiation source. Individual control; Samples radiometry. Ed.: V. I. Grishmanovsky, M. Energoizdat, 1980, Vol.2, 204 p. (In Russ.)
14. Drugov Yu.S., Rodin A.A. Sample preparation in ecological analyze. M., Binom., Laboratory of knowledge, 2009, 855 p. (In Russ.)
15. Schell W. R., Gauzay G., Payne W. R. World distribution of environmental tritium. Phys. Behav. Radioactive Contaminated Atmos. Vienna, 1974, pp. 375.

Lidiya G. Bondareva

Federal Budgetary Establishment of Science Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F.Erisman

Address for correspondence: Semashko St., 2, Mytishchi, Moskovskaya oblast', 141071, Russia;

E-mail: lydiabondareva@gmail.com

16. Baumgartner F., Kim M.A Tritium – protium fractionation near and inside DNA. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2000, Vol. 243, No 2, pp. 295–298.
17. Baumgartner F., Kardinal Ch., Mullen G. Distribution of tritium between water and exchangeable hydrogen bridges of biomolecules. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2001, Vol. 249, No 2, pp. 513–517.
18. Chebotina M.Ya., Nikolin O.A. Modern levels of tritium concentration in the urine of people living in the zone of Nuclear Fuel Enterprises. Doklady Akademii nauk = Reports Academy of Sciences, 2012, Vol.447, № 6, p. 1–2. (In Russ.)
19. ICRP, 1997. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (preface and glossary missing). ICRP Publication 78. Ann. ICRP 27 (3-4).

Received: June 30, 2016

Margarita Ya. Chebotina - Doctor of Technical Science, leading researcher, Laboratory of Common Radioecology, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Oleg A. Nikolin – Candidate of Biological Science, Researcher, Laboratory of Common Radioecology, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

For correspondence: Lidiya G. Bondareva – Candidate of Chemical Science, Senior researcher, Department of analytic methods of control Federal Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Semashko St., 2, Mytishchi, Moskovskaya oblast', 141071, Russia; E-mail: lydiabondareva@gmail.com)

Valeriy N. Rakitsky – Academic of the Russian Academy of Sciences, Acting Director, Federal Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Moskovskaya oblast', Mytishchi, Russia

For citation: Chebotina M.Ya., Nikolin O.A., Bondareva L.G., Rakitsky V.N. Tritium in urine of people living in the area of influence of the Beloyarskaya NPP. Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene, 2016, Vol.9, No 4, pp.87–92. (In Russ.) DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-4-87-92