

## ПОСТУПЛЕНИЕ ТРИТИЯ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ С ДОЖДЕВЫМИ ОСАДКАМИ\*

© 2012 г. М.Я. Чеботина<sup>1</sup>, О.А. Николин<sup>1</sup>, Е.Л. Мурашова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

<sup>2</sup> Производственное объединение «Маяк», г. Озерск

**Ключевые слова:** тритий, концентрация трития, дождевые осадки, ПО «Маяк», Белоярская АЭС.



**М.Я. Чеботина**



**О.А. Николин**



**Е.Л. Мурашова**

Приведены данные о динамике концентраций трития в дождевых осадках зоны ПО «Маяк», района Белоярской АЭС и контрольных территорий. Установлено, что в районах расположения атомных предприятий содержание радионуклида в осадках может варьировать в пределах до 3–4 порядков величин и значительно превышать контрольные показатели и уровень техногенного фона. Полученная информация необходима для прогнозирования масштабов поступления радионуклида от аэрозольных выбросов предприятий ядерно-топливного цикла на земную поверхность и загрязнения водной и воздушной среды жилых и рабочих помещений.

### Введение

Загрязнение природных экосистем тритием в районах размещения предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) происходит как при непосредственном сбросе содержащей радионуклид воды в водные резервуары, так и воздушным путем. В серии работ было оценено загрязнение тритием водоемов в районах Белоярской АЭС и Производственного

\*Работа выполнена при поддержке проекта Уральского отделения РАН (12-П-4-1064).

объединения «Маяк» при непосредственном сбросе в них слаборадиоактивной воды [1, 2].

При выбросе трития в атмосферу радионуклид быстро распространяется в окружающей среде и под влиянием ветра переносится на большие расстояния. В местах распространения он поглощается поверхностью водных объектов. Дождевые осадки, проходя через воздушное пространство, адсорбируют содержащийся в них радионуклид, очищая тем самым атмосферный воздух, и способствуют осаждению трития на поверхность земли.

Целью данной работы является обобщение имеющейся информации для выявления возможного вклада газоаэрозольных выбросов двух предприятий ЯТЦ на Урале в загрязнение тритием окружающей среды.

### Методика исследований

Объектом исследования служили районы Производственного объединения «Маяк» (Челябинская область) и Белоярской АЭС (Свердловская область). В районе ПО «Маяк» были выбраны две расположенные в районе завода площадки. Одна из них (площадка 2) находится вблизи реакторного производства, а другая (площадка 1) – в 2,5 км на северо-восток от нее. Для сравнения были выбраны районы г. Озерска и г. Чебаркуля. Дождевые осадки собирали с апреля по октябрь 2007 г. при помощи специально оборудованных емкостей, установленных на высоте 1 м от поверхности почвы. Сразу после дождя воду сливали в бутылки объемом 0,5 л и плотно закрывали крышками. Всего за время наблюдений проанализировано 126 проб дождевых осадков в районе ПО «Маяк» и 24 пробы – на условно-контрольной территории (г. Чебаркуль).

В районе Белоярской АЭС сбор дождевых осадков производили в разное время работы энергоблоков атомной станции – в 1983–1984 гг. (в период совместной работы второго и третьего энергоблоков), в 1997 и 2002 г. (после вывода из эксплуатации второго энергоблока, когда работал лишь третий энергоблок). Осадки собирали с мая по сентябрь в районе расположения АЭС и условно-контрольных районах (п. Рефтинский и г. Екатеринбург, Ботанический сад Института экологии растений и животных УрО РАН (ИЭРЖ УрО РАН) по вышеупомянутой методике.

Для исследования динамики воздушных выбросов трития атомной станцией был проведен специальный эксперимент, в котором на крыше Биофизической станции, расположенной примерно в 400 м от АЭС в пределах санитарно-защитной зоны, размещали открытые стеклянные емкости с дистиллированной водой определенного объема для поглощения радионуклида водной поверхностью из воздушной среды. Экспозицию длительностью 1 сут. проводили в разное время года в течение ряда лет. Аналогичные ем-

кости размещали в здании Биофизической станции, чтобы оценить возможность загрязнения аэрозольным тритием водных сред в закрытом помещении.

Предварительную подготовку проб для радиометрии осуществляли путем их дистилляции с перманганатом калия. Пробы с содержанием трития более 100 Бк/л анализировали без обогащения, а менее 100 Бк/л – с обогащением. Методика радиометрического определения концентраций трития в пробах воды подробно описана в [3]. Просчет проб осуществляли на установке «Дельта-300». Для оценки надежности результатов неоднократно проводили сверку методов, применяемых в Институте экологии растений и животных и других научных организациях. Полученные результаты свидетельствуют о хорошей сходимости методик.

### Результаты исследований и их обсуждение

#### *Уровень техногенного фона в дождевых осадках*

Согласно данным Росгидромета с 1985 по 1997 гг., концентрация трития в атмосферных осадках по Российской Федерации составляла 4,4 Бк/л [4]. По нашим данным за 2002 г., этот показатель для дождевых осадков севера Свердловской области (г. Кытлым) составил  $4,1 \pm 1,6$  Бк/л. Таким образом, значение  $\sim 5$  Бк/л может служить в качестве реперной величины при характеристике уровня техногенного фона при исследовании загрязнения исследуемым радионуклидом дождевых осадков в районах расположения предприятий ЯТЦ в Уральском регионе.

#### *Район ПО «Маяк» и условно-контрольная территория*

Концентрация трития в дождевой воде на территории ПО «Маяк» варьировала в широких пределах в зависимости от времени измерений. В частности, в районе расположения площадки 1 она изменялась от 7 до 1160 Бк/л, а площадки 2 – от 20 до 2086 Бк/л (рис. 1 и 2). В обоих случаях основная часть проб осадков (95 %) по содержанию трития не превышала 800 Бк/л. Средние значения концентраций радионуклида в дождевой воде на указанных площадках составляли соответственно  $377 \pm 37$  и  $337 \pm 72$  Бк/л. Эти показатели в среднем в 70–80 раз превышали уровень техногенного фона.

Концентрации трития в дождевой воде г. Озерска, расположенного в 10 км на северо-запад от предприятия, заметно ниже, чем в предыдущих случаях (рис. 3). В разное время наблюдений она варьировала от 11 до 430 Бк/л при среднем значении  $70 \pm 16$  Бк/л. Этот показатель в среднем в 14 раз превышает уровень техногенного фона для Уральского региона.

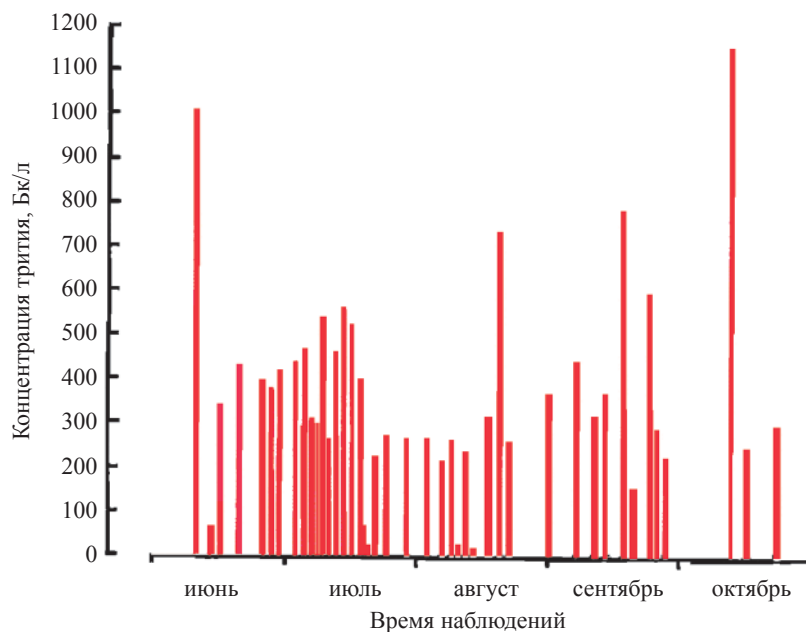


Рис. 1. Динамика концентраций трития в дождевой воде на площадке 1 ПО «Маяк».

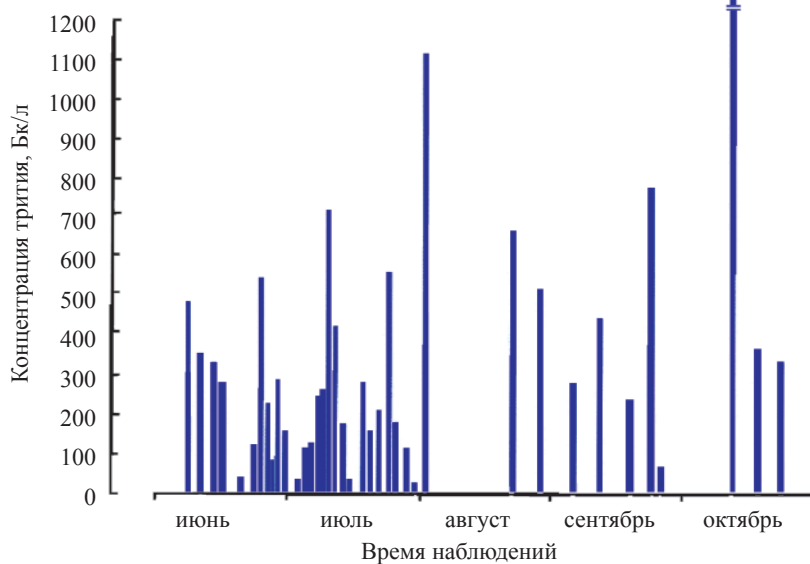
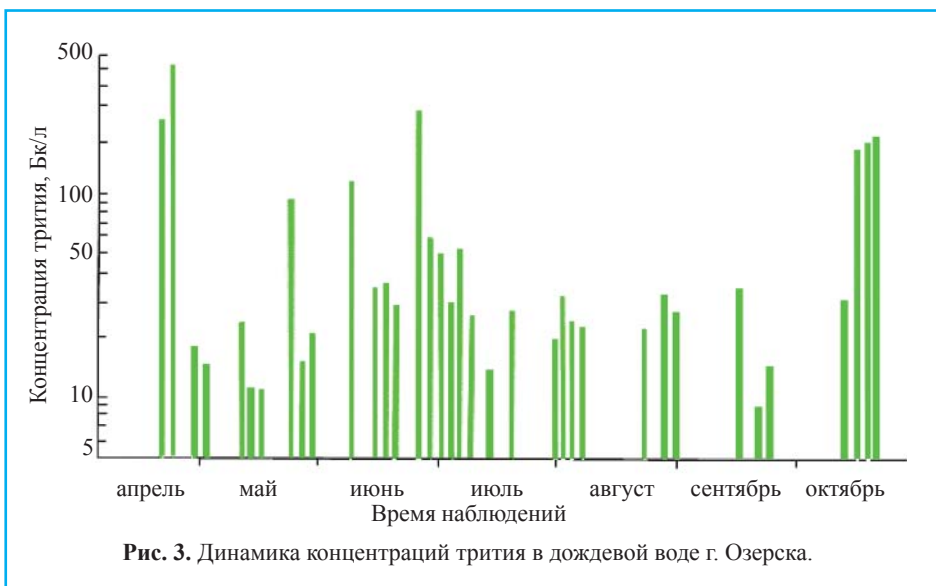
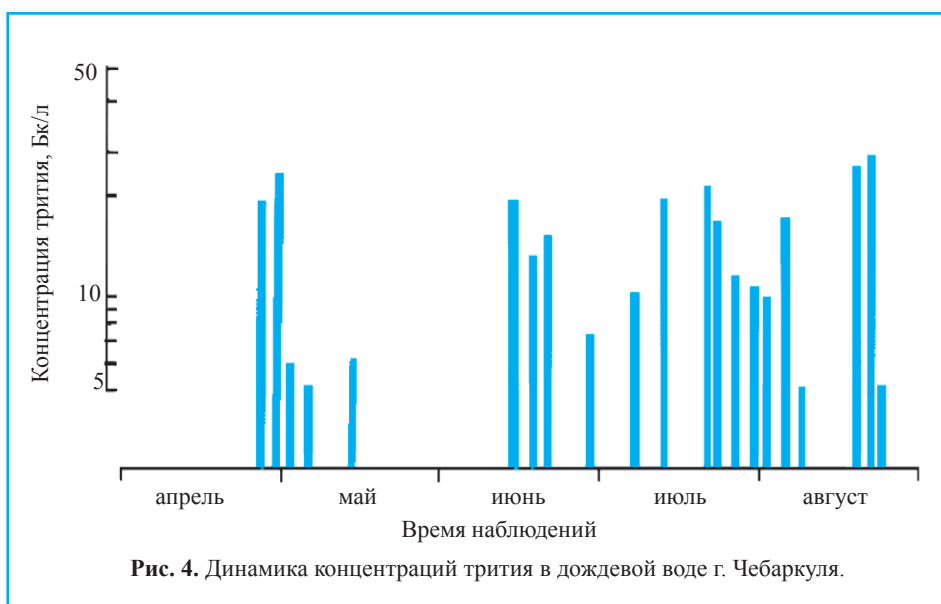


Рис. 2. Динамика концентраций трития в дождевой воде на площадке 2 ПО «Маяк».



Для сравнительной оценки степени загрязнения тритием дождевой воды в районе ПО «Маяк» в качестве условно-контрольной территории был выбран г. Чебаркуль, расположенный на расстоянии 100 км в юго-восточном направлении от предприятия.

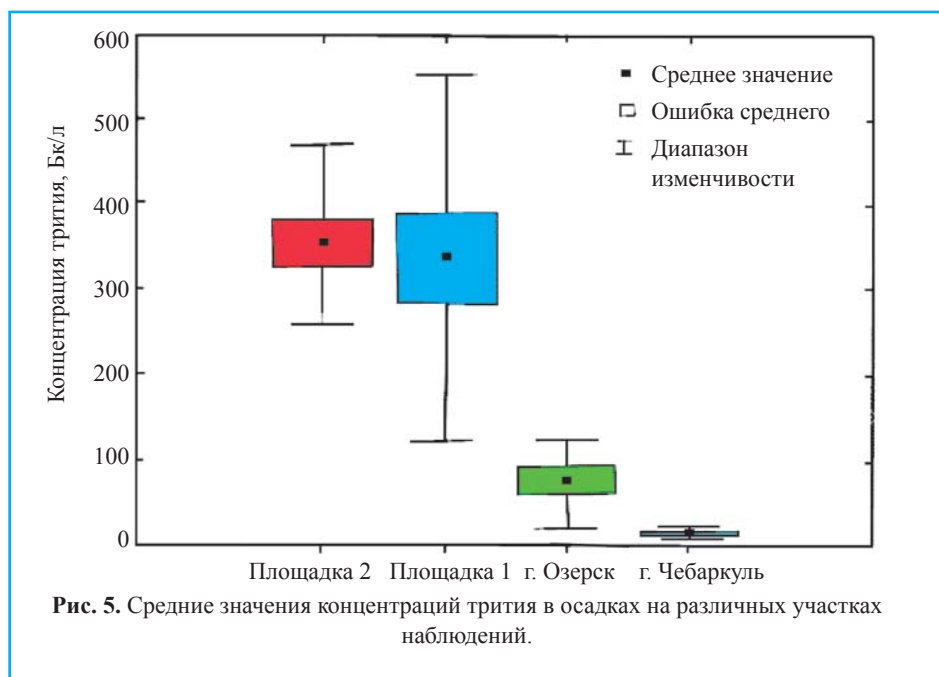
Как видно из рис. 4, в этом пункте регистрировались наиболее низкие значения концентраций радионуклида по сравнению с вышеприведенными



территориями. Эти значения за исследуемый период времени изменялись в пределах 5–30 Бк/л при среднем значении  $15 \pm 2$  Бк/л, что в 3 раза превышало уровень техногенного фона.

Анализ динамики содержания трития в дождевых осадках в течение весенне-летне-осеннего периода свидетельствует о том, что в отдельные временные точки в зоне расположения ПО «Маяк» наблюдались сравнительно высокие значения концентраций трития в осадках по сравнению с остальными. В частности, в октябре такое повышение отмечалось как на площадках предприятия, так и в г. Озерске. Концентрация радионуклида более 1000 Бк/л прослеживалась на площадке 1 в начале июня, а на площадке 2 – в начале августа. В г. Озерске концентрация трития в пробах воды в апреле достигала 430 Бк/л, в июне 300 Бк/л, а в период с 15 по 21 октября около 200 Бк/л.

Статистическая обработка данных с помощью компьютерной программы Statistica 5.5 (рис. 5) показала отсутствие значимых различий по содержанию трития в дождевой воде на площадках ПО «Маяк» ( $p > 0,1$ ), несмотря на то что они расположены на разном расстоянии и в разных направлениях от предприятия. С нашей точки зрения это можно объяснить влиянием преобладающих направлений ветров, которые формируются горными массивами Центрально-Уральского поднятия, расположенного в юго-западном направлении от предприятия. Поскольку направление основных хребтов



указанного горного массива с юго-запада на северо-восток, западные и северо-западные ветры отклоняются на северо-восток, создавая в районе ПО «Маяк» специфическую розу ветров преимущественно северо-восточного направления [5]. Хотя площадка 1 находится вблизи реакторного производства, которое является источником поступления трития в атмосферу, преобладающие ветры уносят воздушные выбросы от нее в северо-восточном направлении, где размещается площадка 2.

Отмечены высокодостоверные различия по исследуемому параметру между площадками ПО «Маяк» и территориями г. Озерска и г. Чебаркуля ( $p \ll 0,001$ ). В то же время достоверных различий по концентрациям трития в дождевых осадках г. Озерска и Чебаркуля не выявлено ( $p = 0,29$ ).

Исходя из полученных значений концентраций трития в дождевой воде и данных Гидрометслужбы о среднемесечном количестве осадков в наблюдаемых регионах, было рассчитано количество трития, поступившего на земную поверхность с дождем в течение всего периода исследований. Для площадок 1 и 2 ПО «Маяк», г. Озерска и г. Чебаркуля оно составило примерно 97, 81, 11 и 7 ГБк/км<sup>2</sup> соответственно.

#### Район Белоярской АЭС

В табл. 1 представлены данные о количестве трития в дождевых осадках района Белоярской АЭС и для сравнения г. Екатеринбурга в период совместной работы второго и третьего энергоблоков. Наблюдения в течение двухлетнего периода (1983–1984 гг.) не позволили выявить существенного вкла-

**Таблица 1.** Концентрации трития в дождевой воде в период совместной работы второго и третьего энергоблоков, Бк/л

Пункт	Расстояние до БАЭС, км	1983 г.			1984 г.			Среднее
		Июнь	Июль	Август	Июнь	Июль	Август	
пос. Каменка	11	20	20	14	не опр.	23	17	19±0,2
д. Режик	5,4	27	20	15	не опр.	30; 27	23	24±2
д. Муранитный	6,2	17	20	16	27	27	23	21±2
д. Мезенка	11	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	28; 27	27	27±0,4
г. Заречный	4,3	20	25	16	32	не опр.	27	23±4
Биостанция	0,5	30	25	20	20	32; 28	23; 23	25±1
БАЭС	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	30; 31	23; 22	26±2
г. Екатеринбург	44,3	18	22	18	не опр.	24	20	20±1

да Белоярской АЭС в загрязнение тритием воздушной среды в это время. Отметим лишь тенденцию к повышению содержания радионуклида в осадках 1983 г. в районе Биофизической станции ИЭРЖ УрО РАН и г. Заречного, наиболее приближенных к БАЭС по сравнению с остальной территорией. В 1984 г. несколько повышенные концентрации радионуклида отмечались практически во всех пунктах наблюдений вокруг БАЭС по сравнению с относительно удаленными территориями – пос. Каменка, г. Екатеринбург.

В целом, за два года наблюдений в период работы второго и третьего энергоблоков концентрация трития в дождевой воде варьировала от 14 до 32 Бк/л. Средние значения для осадков обследуемой территории в 1984 г. оказались несколько выше, чем в 1983 г. (соответственно  $26 \pm 1$  и  $20 \pm 1$  Бк/л).

После вывода из эксплуатации второго энергоблока содержание радионуклида в дождевой воде изучали только в районе Биофизической станции, расположенной рядом с атомным предприятием. Из табл. 2 видно, что за исключением одного значения (228 Бк/л в сентябре 2003 г.) средний показатель, характеризующий содержание трития в дождевых осадках этого периода (23 Бк/л), в целом не отличался от соответствующих величин предыдущего периода. Повышение концентрации радионуклида в осадках в последнем случае, возможно, связано с тем, что выпадение дождя и выброса трития в атмосферу совпали во времени.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Биофизической станции на фоне относительно стабильных значений концентраций трития в дождевых осадках могут наблюдаться отдельные случаи, когда содержание радионуклида в них повышается, что свидетельствует о поступлении трития в окружающую среду от залповых воздушных выбросов БАЭС. В специальном опыте с экспозицией сосудов с дистиллированной водой, используемой в качестве поглощающей среды, на крыше Биофизической станции показано, что более 80 % проб по содержанию трития превышали уровень фона, установленный для дистиллированной воды до начала эксперимента. В ряде случаев такое превышение достигало 10–40 раз (рис. 6).

Аналогичная картина выявлена при экспозиции дистиллированной воды в помещении Биофизической станции, куда радионуклид поступает из окружающего воздушного пространства через окна и двери (рис. 7). Пространство внутри помещения дольше очищается от поступившего радио-

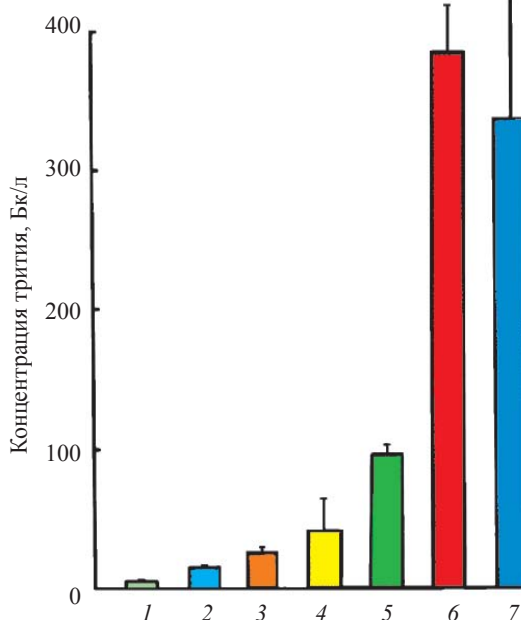
**Таблица 2.** Концентрации трития в дождевой воде в период работы третьего энергоблока, Бк/л

Годы наблюдений	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1997	18	22	41	14	10
2003	31	не опр.	29	не опр.	228





**Рис. 8.** Усредненные концентрации трития в дождевых осадках различных пунктов наблюдений Уральского региона. Места отбора проб (число усредненных проб): 1 – г. Кытлым (7); 2 – г. Чебаркуль (20); 3 – территория за пределами наблюдаемой зоны БАЭС (12); 4 – наблюдаемая зона БАЭС (17); 5 – г. Озерск (37); 6 – площадка 1 (40); 7 – площадка 2 (36).



Представляло интерес сравнить содержание трития в дождевой воде различных районов Уральского региона. Для этой цели на рис. 8 приведены усредненные данные концентраций трития в осадках районов воздействия предприятий ЯТЦ (ПО «Маяк» и Белоярская АЭС) и относительно удаленных от них территорий. Как отмечалось ранее, уровень техногенного фона по тритию в дождевых осадках для Уральского региона можно принять равным ~5 Бк/л. Это значение было получено для г. Кытлым, расположенного на севере Свердловской области. Примерно 3-кратное превышение этого показателя наблюдалось в дождевой воде г. Чебаркуля, расположенного в 100 км на ЮЮЗ от ПО «Маяк» и в 220 км от Белоярской АЭС в том же направлении. В районе Белоярской АЭС в 1997–2003 гг. средние концентрации радионуклида в дождевых осадках колебались вокруг средней величины ~50 Бк/л, что составляло 10 уровней техногенного фона, хотя для преобладающего большинства проанализированных проб средний показатель лишь в 4–5 раз превышал этот показатель. Средняя концентрация трития в осадках г. Озерска превышала уровень техногенного фона примерно в 20 раз, а аналогичный показатель для площадок 1 и 2 был выше соответственно в 67 и 75 раз.

### Заключение

Результаты мониторинга трития в дождевых осадках Уральского региона свидетельствуют о том, что практически во всех исследуемых пробах содержание радионуклида превышает уровень глобального (1 Бк/л) и техногенного (5 Бк/л) фона. Исследования, проведенные в районе ФГУП ПО «Маяк», указывают на это предприятие как основной потенциальный источник загрязнения радионуклидом воздушной среды в обследуемом регионе. Об этом свидетельствует тот факт, что концентрация радионуклида в осадках на территории площадок, расположенных вблизи реакторного производства, существенно выше, чем на других обследованных территориях (г. Озерск, г. Чебаркуль, район Белоярской АЭС). Поступление трития на земную поверхность от воздушных выбросов ПО «Маяк» в районах размещения площадок примерно на порядок величин выше, чем в г. Озерске и г. Чебаркуле, расположенных на расстоянии 10 и 100 км от предприятия соответственно.

По абсолютным значениям концентрации радионуклида в осадках в районах размещения двух атомных предприятий ниже уровня вмешательства, установленного для питьевой воды, согласно принятым нормативам составляет 7600 Бк/л [6, 7].

Ввиду большой подвижности трития в воздушной среде он может проникать внутрь помещений, создавая в них повышенный радиационный фон, и загрязнять открытые водные среды. Так как из воздуха при вдыхании и при употреблении воды радионуклид поступает непосредственно в организм человека, следует рассматривать воздушные выбросы трития в качестве негативного фактора, влияющего на здоровье людей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чеботина М.Я.* Тритий в воде Белоярского водохранилища в период работы трех энергоблоков АЭС // Водное хозяйство России. 2010. № 4. С. 58–73.
2. *Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И., Мурашова Е.Л.* Тритий в водоемах производственного и комплексного назначения в районе ПО «Маяк» на Урале // Водное хозяйство России. 2011. № 4. С. 75–84.
3. *Чеботина М.Я., Николин О.А.* Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 90 с.
4. Ежегодник: «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2008 г.». Росгидромет, 2009. 315 с.
5. *Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И.* Тритий в водных системах района ПО «Маяк» // Опыт преодоления последствий техногенных аварий и развитие атомных технологий. Мат-лы научн.-практ. конф., посвященной 50-летию аварии на ПО «Маяк». Челябинск: Челябинский институт ФГОУ «Уральская академия государственной службы», 2007. С. 152–162.

6. Нормы радиационной безопасности НРБ-99. СП 2.6.1.758–99. М.: Минздрав РФ, 1999. С. 79.
7. Егоров Ю.А. Еще раз о тритии, образующемся при работе АЭС, и его переносе в окружающей АЭС среде // Экология регионов атомных станций. М.: АЭП, 1996. С. 237–250.

**Сведения об авторах:**

Чеботина Маргарита Яковлевна, д. т. н., ведущий научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202; e-mail: Chebotina@irae.uran.ru

Николин Олег Анатольевич, к. б. н., научный сотрудник, Биофизическая станция, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 624250, г. Заречный, Свердловская обл., а/я 18; e-mail: BFS\_zar@mail.ru

Мурашова Екатерина Леонидовна, инженер, Центральная заводская лаборатория, Производственное объединение «Маяк», 4567890 г. Озерск, Челябинская обл., ул. Ермолаева, 18; e-mail: alex.2007.mr@gmail.com