

УДК 502.65:546.11.027*3

ТРИТИЙ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА НА УРАЛЕ*

© 2014 г. М.Я. Чеботина¹, О.А. Николин¹, А.И. Смагин²¹ ФГБУН Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург² ФГУП Южно-Уральский институт биофизики, г. Озерск

Ключевые слова: тритий, снеговой покров, концентрация в воде, Белоярская АЭС, ПО «Маяк», район падения отделяющихся частей ракет-носителей, Урал.



М.Я. Чеботина



О.А. Николин



А.И. Смагин

Приведены результаты многолетних исследований концентраций трития в снеговом покрове территорий Уральского региона. Район исследования включает зоны воздействия Производственного объединения «Маяк» (Южный Урал), Белоярской АЭС им. Курчатова (Средний Урал), район падения отделяющихся частей ракет-носителей (Северный Урал). Составлены картосхемы, отражающие уровни надфоновое загрязнения тритием снежного покрова исследованных территорий на разном расстоянии от источника.

Введение

При работе предприятий атомной промышленности, испытании ядерных устройств тритий (радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада 12,4 лет) попадает в окружающую среду и загрязняет поверхностные водные объекты (реки, озера), подземные воды и воздушное пространство на прилегающих территориях. В серии работ оценены уровни загрязнения тритием поверхностных и внутрипочвенных вод в районах размещения Белоярской

* Работа выполнена при поддержке гранта Уральского отделения РАН 12-П-4-1064.

АЭС и ПО «Маяк» на Среднем и Южном Урале [1–5], а также исследовано поступление радионуклида на поверхность земли с дождевыми осадками [6]. Полученные результаты позволили выявить высокую миграционную способность радионуклида, его способность загрязнять водные среды на значительных расстояниях и в разных направлениях от места выброса.

При оценке масштабов распространения трития от предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) хорошим индикатором служат снеговые выпадения. При прохождении через воздушное пространство снег поглощает радионуклид из воздуха и осаждаёт его на поверхности земли в ближних зонах от места выброса. При этом снежный покров хорошо удерживает поглощённый радионуклид в течение всего зимнего периода, а при снеготаянии тритий включается в процессы миграции воды на прилегающих территориях.

Исследования, проведенные на севере Свердловской области в экологически чистом районе (Косьвинское плечо), позволили установить уровень содержания трития в снеговой воде ~4 Бк/л. Концентрация радионуклида в других водных средах этого региона (дождь, колодезная вода, река, водоем) не превышала 5 Бк/л. Этот показатель был принят в качестве реперной величины при характеристике уровня техногенного фона для Уральского региона [7].

В данной работе приведены результаты многолетних наблюдений за содержанием трития в снежном покрове Уральского региона, где функционируют предприятия ЯТЦ.

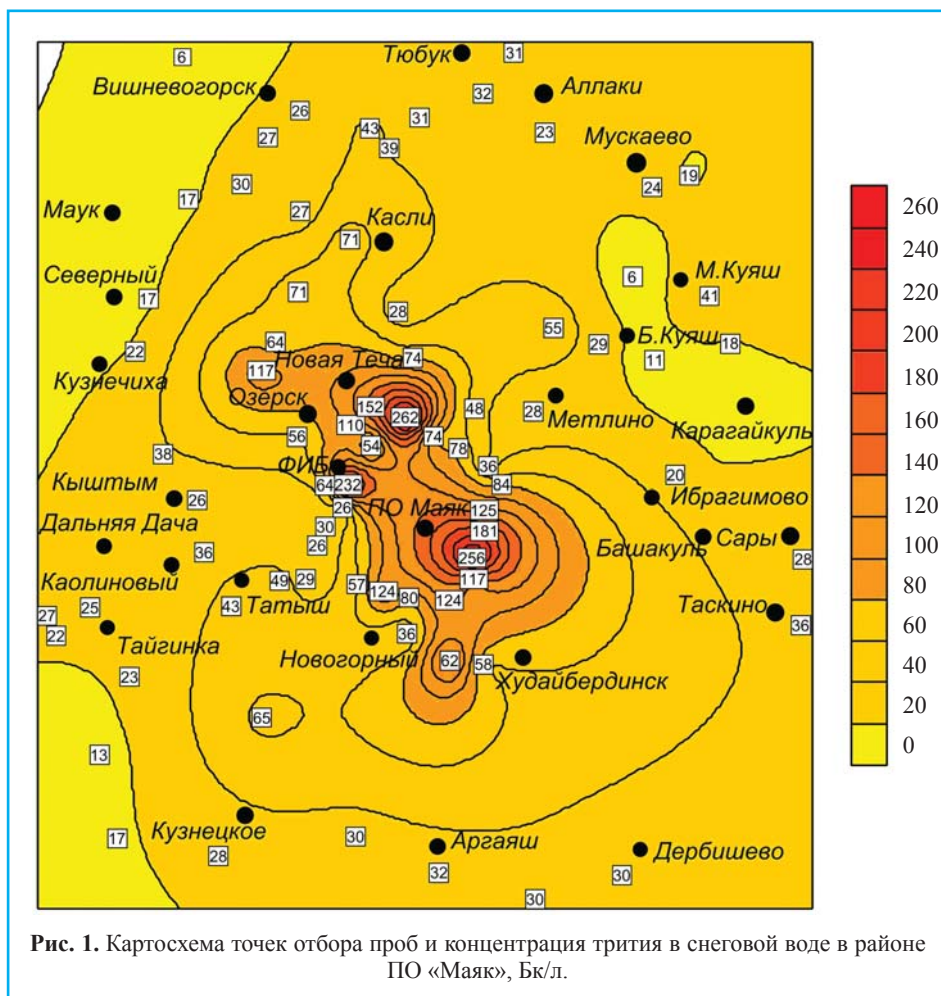
Объекты и методы исследований

Исследования выполняли в период 2005–2012 гг. на территориях Уральского региона – в зоне воздействия ПО «Маяк» на Южном Урале, районе функционирования Белоярской АЭС на Среднем Урале, зоне падения отделяющихся частей ракет-носителей и на контрольной территории Северного Урала. Пробы снега отбирали в период начала снеготаяния на всю глубину снежного покрова и транспортировали в лабораторию. Воду из растаявшего снега фильтровали через бумажный фильтр, дистиллировали и хранили в холодильнике в плотно закрытых сосудах. Для количественного определения трития в пробах воды проводили предварительное обогащение методом одноступенчатого электролиза. Методика определения концентрации трития достаточно подробно описана в работе [7]. Просчет проб проводили на установке «Дельта-300». Концентрацию трития определяли относительным методом путем сравнения со стандартным раствором. Для этого в процесс электролиза включали контрольный электролизер с известным содержанием трития в воде. Такой раствор предварительно готовили на основе стандартного раствора, полученного от фирмы «Изотоп».

Результаты исследований и их обсуждение

Район Производственного объединения «Маяк»

На Южном Урале основным источником поступления трития в окружающую среду является ПО «Маяк». Изучение содержания трития в снежном покрове проводили на территории радиусом более 30 км с учетом разных направлений и расстояний от предприятия. На рис. 1 представлена картосхема точек отбора проб и содержания трития в снеговой воде. Концентрация радионуклида на обследуемой территории изменяется в широких пределах от 6 до 262 Бк/л. Самый низкий показатель практически не отличается от уровня техногенного фона для Уральского региона, а наиболее высокий –



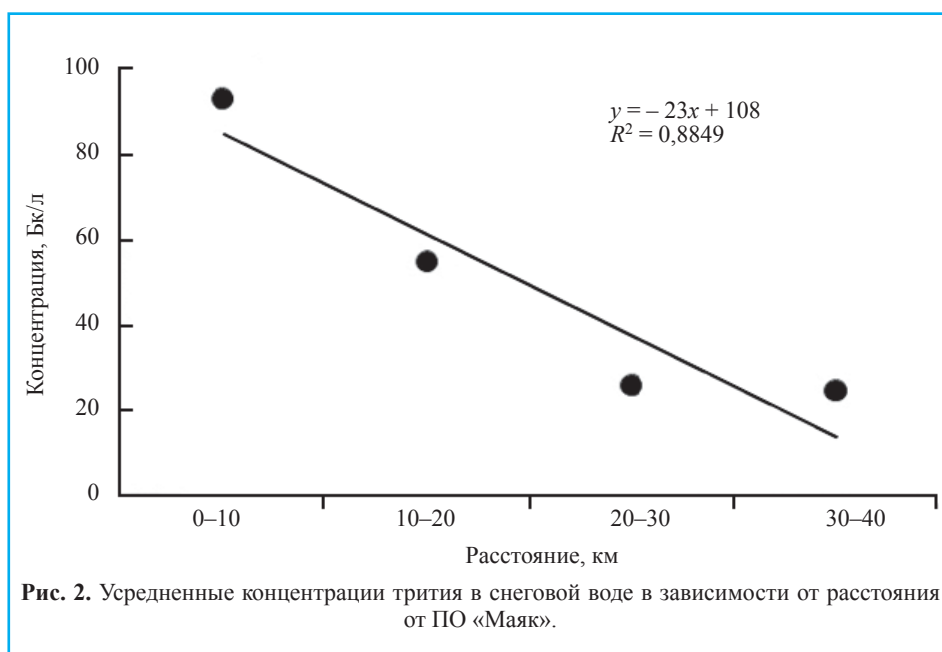


Рис. 2. Усредненные концентрации трития в снеговой воде в зависимости от расстояния от ПО «Маяк».

превышает этот показатель более чем в 50 раз. Повышенные значения концентраций трития обнаружены в непосредственной близости от предприятия, особенно в северном (до 262 Бк/л) и северо-восточном (до 256 Бк/л) направлениях.

Для того чтобы определить, как изменяется концентрация радионуклида в пробах снега в зависимости от расстояния от предприятия, были усреднены показатели для территорий, расположенных на разных расстояниях вокруг ПО «Маяк»: 0–10 км, 10–20 км, 20–30 км, более 30 км. При этом расположение точек отбора по сторонам света не учитывали. Как показывает линия тренда на рис. 2, концентрация исследуемого радионуклида в снеговой воде достоверно (уровень значимости $< 0,001$) снижается по мере удаления от предприятия: в радиусе до 10 км от ПО «Маяк» содержание трития в снеге составляет в среднем 93 ± 13 Бк/л, в радиусе 10–20 км – 56 ± 6 Бк/л, в радиусе 20–30 км и далее – 24 ± 2 Бк/л.

Представляло интерес оценить распределение концентраций трития в снежном покрове в зависимости от направления по сторонам света. С этой целью все пробы были ранжированы по направлению и расстоянию от предприятия. В радиусе до 10 км от ПО «Маяк» средняя концентрация трития в снеге имела наиболее высокий показатель для северного (137 ± 32 Бк/л) и восточного (106 ± 40 Бк/кг) направлений, который снижается в южном (64 ± 18 Бк/л) и западном (35 ± 8 Бк/л) направлениях (рис. 3). На расстоянии более 30 км все показатели имеют близкие значения и колеблются вокруг средней величины.

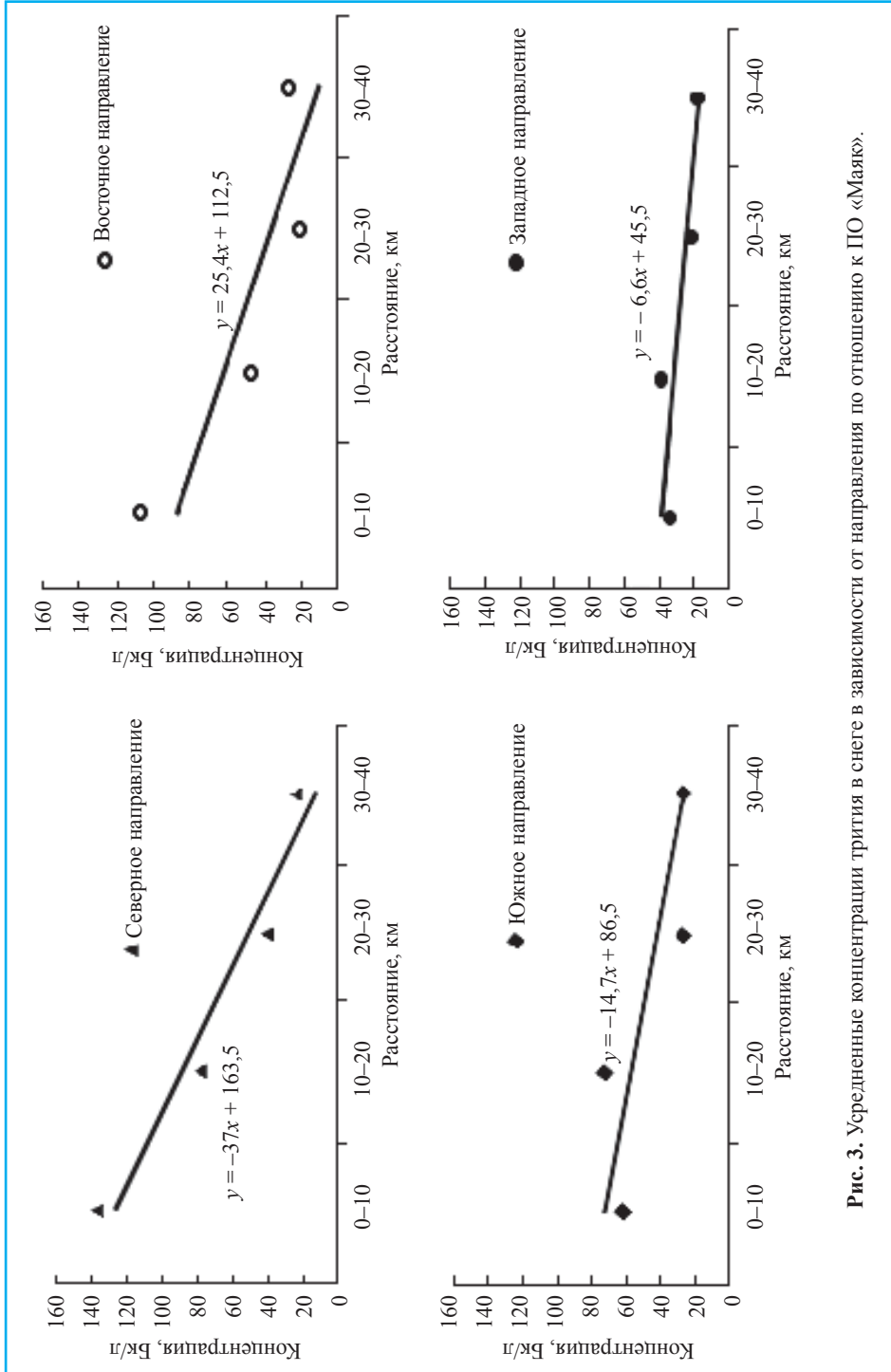


Рис. 3. Усредненные концентрации трития в снеге в зависимости от направления по отношению к ПО «Маяк».

Указанное выше распределение концентраций трития в снежном покрове можно объяснить тем, что западные и северо-западные ветры под влиянием горного массива Урала отклоняются на север и северо-восток, создавая специфическую розу ветров в районе ПО «Маяк» преимущественно северо-восточного направления. Это подтверждается, например, формой Восточно-Уральского радиоактивного следа [8, 9].

Практически во всех пробах воды из снега концентрация трития была выше уровня глобального (1 Бк/л) и техногенного (5 Бк/л) фона, что свидетельствует о вкладе ПО «Маяк» в формирование этого загрязнения. В то же время концентрации трития были ниже уровня вмешательства, регулирующего содержание радионуклида в питьевой воде (7700 Бк/л) [10].

Район Белоярской АЭС

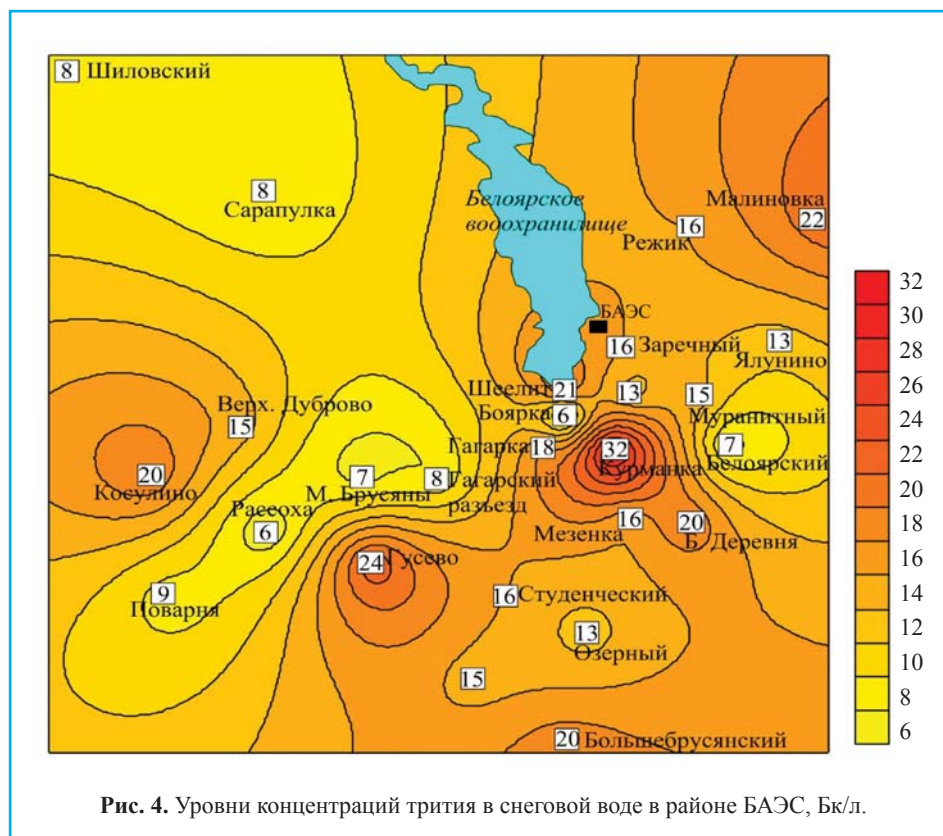
На Среднем Урале источником поступления трития в окружающую среду является Белоярская АЭС им. Курчатова (БАЭС). Периодические исследования уровней содержания трития в снеговом покрове района БАЭС проводили многократно, начиная с 1981 г. [7]. В период 1981–1985 гг. повышенные концентрации трития в снеге отмечались на промплощадке БАЭС (76–118 Бк/л) и на территории Биофизической станции Института экологии растений и животных УрО РАН, расположенной в непосредственной близости от АЭС (29–41 Бк/л). В других пунктах наблюдений среднее содержание трития в снеговой воде варьировало от 21 до 27 Бк/л. Установлено, что в 1981 г., когда работали все три энергоблока, средние концентрации трития в снеговой воде были в среднем выше (44 Бк/л), чем после вывода из эксплуатации первого энергоблока (1982 г. – 42 Бк/л; 1985 г. – 30 Бк/л).

Результаты исследований 1986 г., когда действовали второй и третий энергоблоки, подтвердили факт повышенных концентраций радионуклида в снеге вокруг БАЭС. На территории станции и на расстоянии 1 км в разных направлениях от нее концентрация радионуклида в снеге варьировала от 40 до 172 Бк/л против $9 \pm 0,1$ Бк/л в контрольном районе (г. Екатеринбург).

Исследования, проведенные в 1997–2003 гг., после вывода из эксплуатации второго энергоблока, показали, что и в этот период примыкающая к БАЭС территория, в т. ч. площадки вокруг Института реакторных материалов (ИРМ) и Биофизической станции, отличались повышенными концентрациями радионуклида в снеге. В частности, в 2002 г. содержание радионуклида в снеговых выпадениях с северной стороны от ИРМ, расположенного рядом с Белоярской АЭС, составляло 1090 Бк/л. В 2003 г. концентрация трития с западной стороны от БАЭС отмечена на уровне 456 Бк/л. Полученные данные свидетельствуют о возможном вкладе в загрязнение тритием прилегающей к АЭС территории за счет работы экспериментального реактора ИРМ. Это подтверждается полученными ранее данными о поступлении радионуклида в водоем-охладитель через промливневый канал ИРМ в 1995 г.,

когда в воде этого канала была зарегистрирована концентрация трития 3020 Бк/л. Снежный покров на остальной части обследованной вокруг станции территории в эти годы характеризовался относительно нестабильными показателями, которые варьировали от года к году в несколько раз. Например, в точке наблюдения, расположенной в 1 км восточнее БАЭС, концентрация трития в снеговой воде изменялась в 14 раз, а на территории Уралэлектроспецмонтажа и в пос. Муранитный – в 3–4 раза. С одной стороны, это свидетельствует о нестабильности выбросов трития в воздушную среду от АЭС в различные годы, с другой – о несовпадении по времени этих выбросов с периодами снежных осадков.

В среднем концентрация трития в воде снеговых выпадений района расположения Белоярской АЭС в период работы третьего энергоблока варьировала от 4 до 1100 Бк/л. Практически все пробы снега на обследованной территории по содержанию этого радионуклида превышали уровень техногенного фона. Результаты последнего исследования (2010 г.) уровней содержания трития в зоне воздействия Белоярской АЭС приведены на рис. 4. В зону наблюдения включены



населенные пункты, расположенные на расстоянии более 20 км вокруг станции. Концентрация трития в снеговых выпадениях исследуемого региона варьирует от 6 до 32 Бк/л. Относительно низкие концентрации радионуклида (6–8 Бк/л) зарегистрированы в юго-западном и северо-западном направлениях по трансекте Поварня – Рассоха – Малые Брусяны – Гагарский и Шиловский – Сарапулка. Несколько повышенные концентрации прослеживаются в южном и юго-восточном направлениях от АЭС (Гусево – 24, Курманка – 32, Малиновка – 22 Бк/л).

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что в воздушное пространство в районе Белоярской АЭС и ИРМ определенная часть трития поступает от этих предприятий аэральным путем. Это доказано как в опытах с экспозицией сосудов с открытой водой на данной территории, так и посредством сбора и анализа дождевых и снеговых выпадений [7].

Район Северного Урала

Местом проведения исследований стал район падения (РП) отделяющихся частей (ОЧ) ракет-носителей (РН) «Союз» при выведении космических аппаратов на солнечно-синхронную орбиту с космодрома Байконур площадью 2206 км². К настоящему времени территория четыре раза принимала фрагменты отделяющихся частей ракет-носителей: в декабре 2006 г., ноябре 2006 и 2007 гг., октябре 2009 г.

С 2006 г. специалисты Института экологии растений и животных УрО РАН проводят фоновый экологический мониторинг состояния природной среды в районе падения. При разработке мониторинга за основу принята система наблюдений, разработанная для особо охраняемых территорий Свердловской области: регулярно контролируется состояние почв, снежного покрова, воды водных объектов, отслеживается динамика численности мелких млекопитающих [11].

Учитывая то обстоятельство, что население близлежащих городов и поселков опасается радиоактивного загрязнения местности, в апреле 2011 г. проанализированы возможности поступления трития на поверхность земли в районе падения отделяющихся частей и на подтрассовой территории выведения ракет-носителей над Уралом. Пробы снега отбирали в трех точках наблюдений (на вершине горы Ольвинский Камень, на склоне этой горы, около оз. Малое Княсьпинское) и для сравнения – в окрестностях г. Карпинска и по трассе Серов – Екатеринбург (р. Коноплянка, р. Тура) (рис. 5).

В таблице представлены данные по содержанию трития в снеговой воде трех точек наблюдений в районе падения отделяющихся частей ракет-носителей в сравнении с контрольным образцом снега с Косьвинского плеча, расположенного за пределами этого района.

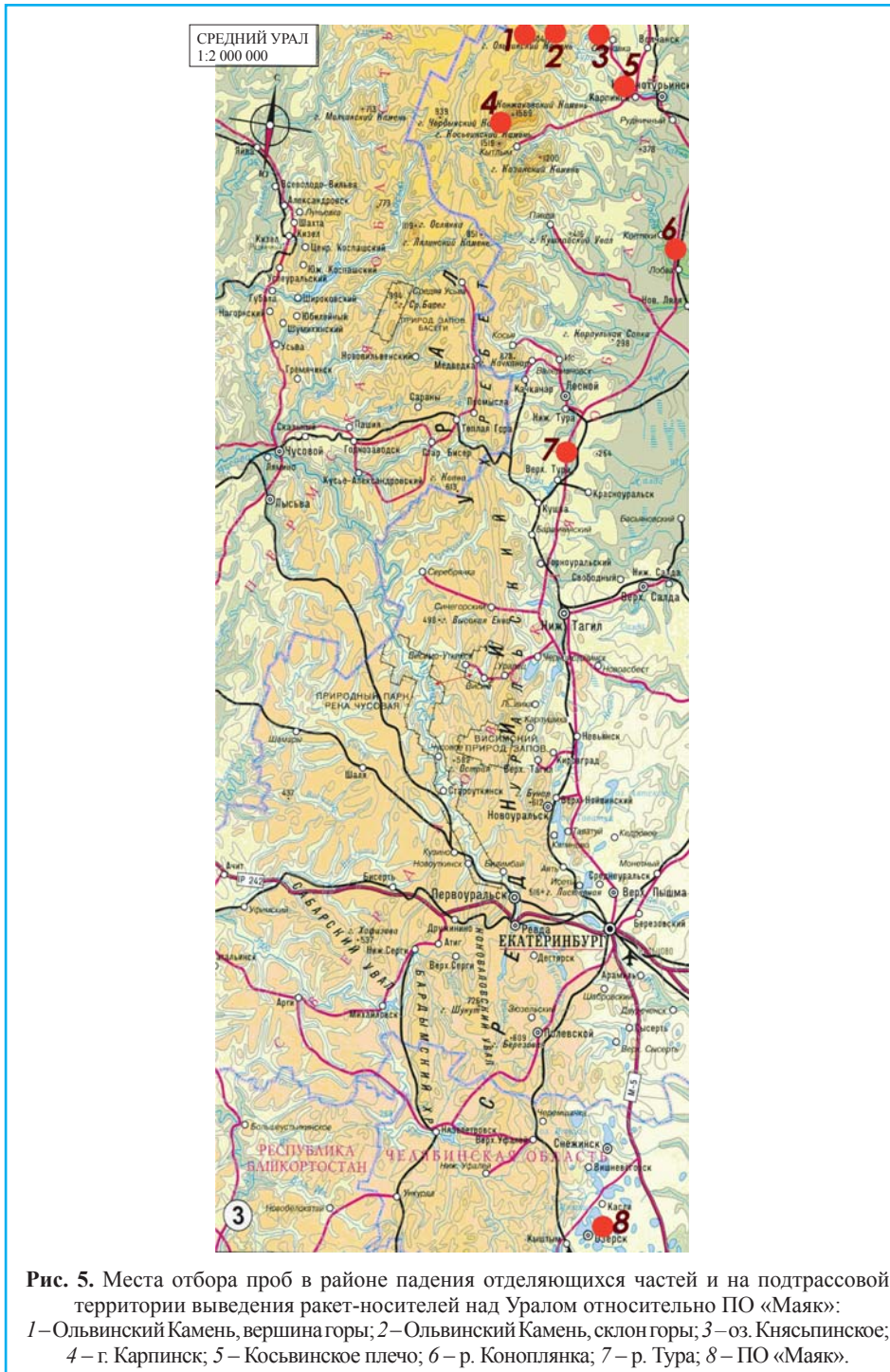


Таблица. Содержание трития в снеговой воде на территории района падения отделяющихся частей ракет-носителей, территории сравнения и контрольной территории

Место отбора проб	Время отбора проб	Концентрация трития, Бк/л
Район падения		
Вершина горы Ольвинский Камень	апрель 2011 г.	5,8±0,2
Склон горы Ольвинский Камень	«	8,1±0,1
оз. Большое Княсьпинское	«	7,7±0,2
Контрольная территория		
Косьвинское плечо	июнь 2002 г.	3,8±0,3
Территории сравнения		
Окрестности г. Карпинска	апрель 2011 г.	8,8±1,6
р. Коноплянка	«	19,3±3,0
р. Тура	«	21,0±4,0

Концентрация трития в снеговой воде контрольного района (уровень техногенного фона) не превышает ~4 Бк/л [7]. Концентрация радионуклида на территории района падения ОЧ РН незначительно превышает контрольный показатель. С нашей точки зрения, это превышение не представляет опасности для человека и связано, вероятнее всего, с колебаниями уровня техногенного фона в пределах региона. Возможно, это связано также с различием во времени проведения исследований (2002 и 2011 г. соответственно в контрольном регионе и районе падения), однако данное заключение требует дополнительной проверки.

Обращает на себя внимание факт повышенного содержания трития в пробах снега, отобранных южнее района падения (р. Коноплянка, р. Тура), по сравнению с районом падения и контролем (см. таблицу). Предположительно это может быть объяснено влиянием воздушных выбросов ПО «Маяк», содержащих повышенные концентрации трития.

Заключение

Исследование современных уровней концентраций трития в снеговом покрове районов размещения крупных ядерных объектов (ПО «Маяк», БАЭС) и района падения отделяющихся частей ракет-носителей на Урале позволило выявить наличие радионуклида в концентрациях, превышающих уровни глобального и техногенного фона. Присутствие тритиевого загрязнения в снежном покрове свидетельствует о загрязнении воздушного пространства вокруг

предприятий в зимнее время, т.к. снег, прежде чем выпасть на земную поверхность, соприкасается с воздухом и поглощает из него радионуклид.

Наиболее высокие концентрации трития в снеговой воде зафиксированы в непосредственной близости к ПО «Маяк» (0–10 км) и снижаются по мере удаления от предприятия. На расстоянии 30–40 км средние показатели по всем направлениям от предприятия выравниваются и составляют ~20–30 Бк/л. В пределах обследованной территории пробы снега северного и восточного направлений имеют в среднем более высокие концентрации трития, чем аналогичные пробы южного и западного направлений. Последнее связано с преобладающим направлением ветров, которое формируется горным массивом Центрально-Уральского поднятия, расположенного в юго-западном направлении от предприятия. Поскольку направление основных хребтов указанного горного массива с юго-запада на северо-восток, то западные и северо-западные ветры отклоняются на северо-восток, создавая специфическую розу ветров преимущественно северо-восточного направления.

Тритиевое загрязнение снежного покрова в районе Белоярской АЭС заметно ниже, чем в районе ПО «Маяк». Относительная равнинность территории при отсутствии крупных горных поднятий способствует более равномерному распределению тритиевого загрязнения в снежном покрове. Наиболее низкие значения концентраций радионуклида, немного превышающие уровень техногенного фона, зарегистрированы в пос. Шиловский, Сарапулка, Гагарский, Малые Брусяны, Рассоха, Поварня, Белоярский, в зонах же повышенного загрязнения (Косулино, Гусево, Малиновка и др.) превышение этого уровня составляет 4–6 раз. Учитывая то обстоятельство, что преобладающие ветры в районе расположения атомной станции направлены на северо-восток, трудно связать с направлением ветра наличие тритиевого загрязнения на территории, расположенной южнее и юго-западнее БАЭС. В качестве возможного объяснения можно высказать два предположения: диффузия трития из аэральных выбросов станции в южном направлении зимой в безветренную погоду и влияние выбросов ПО «Маяк», расположенного южнее станции.

Содержание трития в снежном покрове района падения отделяющихся частей ракет-носителей «Союз» на Северном Урале незначительно превышает уровень техногенного фона, однако обнаружено 4-кратное превышение этого уровня в пробах снега южнее района падения, на территории рек Коноплянка и Тура, что скорее всего связано с аэральными выбросами ПО «Маяк».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеботина М.Я., Николин О.А., Рыбаков Е.Н. Тритий в воде болотно-речной экосистемы в районе Белоярской АЭС // Уральский геофизический вестник. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. № 7. С. 70–73.

2. Чеботина М.Я. Тритий в воде Белоярского водохранилища в период работы трех энергоблоков АЭС // Водное хозяйство России. 2010. № 4. С. 58–73.
3. Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И., Мурашова Е.Л. Тритий в водоемах производственного назначения в районе ПО «Маяк» на Урале // Водное хозяйство России. 2011. № 4. С. 75–84.
4. Чеботина М.Я. Поступление трития из водоема-охладителя в источники питьевого водоснабжения путем фильтрации через глубинные слои подстилающих пород // ДАН. 2011. Т. 438. № 5. С. 675–677.
5. Чеботина М.Я., Николин О.А., Смагин А.И. Тритий в источниках питьевого водоснабжения жителей района ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. 2008. № 2. С. 82–86.
6. 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.
7. Чеботина М.Я., Николин О.А. Радиоэкологические исследования трития в Уральском регионе. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 90 с.
8. Уткин В.И., Чеботина М.Я., Евстигнеев А.В., Любашевский Н.М. Особенности радиационной обстановки на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 149 с.
9. Чудин В.А., Чувашев Н.И., Мурашева Е.Л., Щербакова Л.М., Чеботина М.Я. Использование модели воздушного переноса атмосферных примесей для оценки влияния ПО «Маяк» на населенные пункты // Проблемы радиозологии и пограничных дисциплин. Екатеринбург. 2005. С. 410–422.
10. СП 2.6.1.758-99. Нормы радиационной безопасности НРБ-99. М.: Минздрав России, 1999. 115 с.
11. Комплексный экологический мониторинг состояния природной среды особо охраняемых природных территорий Свердловской области / Правительство Свердл. обл., Екатеринбург: Уральский следопыт, 2008. 216 с.

Сведения об авторах:

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

Николин Олег Анатольевич, канд. биол. наук, научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, 624250, г. Заречный Свердловской области, а/я 18, Биофизическая станция; e-mail: BFS_zar@mail.ru

Смагин Андрей Иванович, д-р биол. наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие Южно-Уральский институт биофизики (ФГУП ЮУрИБФ), 456780, г. Озерск Челябинской обл., Озерское шоссе, 19; e-mail: Smagin54@mail.ru