

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ТРИТИЯ В ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ

О.А. Момот*, И.И. Силин, Б.И. Сынзыныс*, Г.В. Козьмин***

** Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*

*** ВНИИ экономики минерального сырья и недропользования (Калужский филиал),
г. Калуга*



Данная статья начинает серию работ по оценке риска, и рассматривает первый этап – *идентификацию опасности* – на примере описания источников техногенного трития. Рассматриваются инженерные и геологические причины загрязнения подземных вод тритием Обнинского региона. Представлены данные о содержании трития в подземных водах г. Обнинска и его окрестностей. Удельная активность данного радионуклида в питьевой воде на порядки ниже действующих санитарных норм.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире наличие большого количества радиационно опасных объектов и активная хозяйственная деятельность человека привели к возникновению ряда острых проблем для здоровья человека и окружающей среды. Особого внимания заслуживает проблема загрязнения окружающей среды тритием. Методология оценки риска направлена на выявление такого рода факторов и рассматривается в качестве главного механизма разработки и принятие оптимальных управленческих решений.

Процедура оценки и управления риском для здоровья людей, контактирующих с опасными веществами или физическими воздействиями, состоит из семи этапов [1]:

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка экспозиции;
- 3) установление зависимости «доза-эффект»;
- 4) анализ факторов, влияющих на точность и достоверность оценки риска (характеристика неопределенностей, возникающих на этапах оценки риска);
- 5) характеристика и собственно оценка риска;
- 6) управление риском: использование данных по оценке риска при принятии управленческих решений;
- 7) взаимодействие с общественностью: разъяснение конкретной информации о возможной опасности для человека того или иного химического соединения или радиации.

В предлагаемой серии статей данная методология будет использована при оценке (и разработке возможных подходов для управления) риска, связанного с появлением трития в подземных водах Обнинского региона в обозримом временном периоде времени.

Цель данной статьи – выявление закономерностей, связанных с реализацией первого этапа в оценке риска, – идентификации опасности. Это описание источников появления трития в подземных водах и исследование с помощью геоэкологических методов распространения и рассеяния этого изотопа в подземных водах.

Тритий (Т или ^3H) – сверхтяжелый радиоактивный изотоп водорода, период полураспада которого 12,26 лет. Этот изотоп при распаде испускает β -частицы, максимальная энергия которых 18,6 кэВ (средняя энергия β -частиц 5,8 кэВ). Существует тритий в составе тритиевой воды (НТО, T_2O), в виде газа (НТ, T_2), а также в составе любых органических и неорганических соединений, содержащих водород, в том числе соединений, образующих биологические ткани, где он обычно замещает атомы обычного водорода.

Различают тритий естественного и искусственного происхождения. Естественный тритий в основном образуется в верхних слоях атмосферы и содержится в атмосферном воздухе в количестве 1 ат. на 10^{14} ат. против, в воде – в количестве 1 ат. на 10^{18} ат. водорода, т.е. $8,65 \cdot 10^{-2}$ Бк/л. Общий запас естественного трития на земном шаре давно находится в равновесном состоянии и составляет $(8-25) \cdot 10^{17}$ Бк (1,5–2 кг) [2]. Около 99% общего количества природного трития включены в состав воды и участвуют в ее естественном круговороте. Его концентрация на поверхности океана составляет в среднем 0,11 Бк/л, причем в пресной воде она больше, чем в морской. До начала эпохи ядерных испытаний средняя концентрация трития в пресных водоемах составляла 0,2–0,9 Бк/л [3].

Искусственный «техногенный» тритий начал поступать в атмосферу Земли в основном в результате наземных термоядерных взрывов (1954–1962 гг.) Общая активность трития, произведенная ядерными взрывами, оценивается в $2,4 \cdot 10^{20}$ Бк. Вклад ядерных взрывов в вынос трития после 1964 г. составляет менее 5% от общего [4].

Другой источник техногенного трития – реакторы атомных электростанций. В этом случае тритий поступает в окружающую среду в виде газообразных выбросов и жидких отходов. Авария на Чернобыльской АЭС не сказалась на среднегодовом содержании трития в осадках и его выпадениях из атмосферы.

Вышеперечисленные источники естественного и техногенного трития сформировали на территории России и прилегающей к ней акватории фоновые уровни содержания этого радионуклида. Росгидромет длительное время осуществляет мониторинг радиоактивного загрязнения воды поверхностных водотоков и океанов, омывающих берега России. Так, по средним многолетним данным концентрация трития в водах морей колеблется в пределах 4 – 10 Бк/л, при определенной тенденции к спаду. Фоновые уровни загрязнения рек России тритием в 1997 г. составляют 2–7 Бк/л, при среднероссийском значении в пределах 4 Бк/л [5].

ИСТОЧНИКИ ТЕХНОГЕННОГО ТРИТИЯ ОБНИНСКОГО РЕГИОНА

В 1995 г. при опробовании источников подземных вод левого берега р. Протвы, на котором располагаются все обнинские предприятия, сотрудниками НПО «Тайфун» Росгидромета было установлено, что повышенное содержание трития наблюдается во всех выходах источников грунтовых вод на территории санитарной зоны обнинских водозаборов, в том числе и в расположенных выше по течению реки от города и АЭС [6]. Максимальные концентрации трития до 46,9 кБк/л приурочены к водам первой надпойменной террасы р. Протвы вблизи нового хранилища радиоактивных от-

ходов (РАО) ФЭИ [6]. Для сравнения, уровни вмешательства (УВ) согласно НРБ-99 [7] для неорганических соединений трития составляют 7700 Бк/л, и для органически связанного трития – 3300 Бк/л.

Помимо указанного хранилища ФЭИ, источником появления тритиевой воды в Обнинском регионе могут быть также отработанные тритиевые мишени, которые располагаются на территории хранилища РАО, реактор на быстрых нейтронах БН-10, другие выведенные из эксплуатации реакторы, хранилище РАО ВНИИФХИ, аномалии, сформированные на почвах в результате протечек магистралей и воздушных выбросов, сбросные воды и твердые осадки спецочистки, старые свалки, технологические аварийные сбросы [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мониторинг за распространением трития на территории промплощадки ГНЦ РФ-ФЭИ и окрестностях г. Обнинска осуществлялся путем анализа содержания трития в контрольных скважинах хранилища РАО, водах и снеге на территории ФЭИ и прилегающей территории, воды из четырех водозаборов г. Обнинска.

Вода из контрольных скважин отбиралась специальным пробоотборником. Водяные пары аккумулировались в течение 10 сут с помощью цеолита. Отбор снега с каждой выбранной точки проводили в полиэтиленовые пакеты со всей глубины снежного покрова. Снег растапливали при комнатной температуре и такую воду помещали в герметично закрытые сосуды. После фильтрации и перегонки подготовленные пробы отправляли на анализ.

Результаты измерения проб воды получены МИФИ и лабораторией внешнего контроля Смоленской АЭС с использованием прецезионного жидкостинтилляционного бета-спектрометра «Quantulus 1220» и радиометра альфа-, бета-излучения Гардиан 1414-03 (Wallac Oy). Измеренные спектры анализировали с помощью программы обработки спектров Wallac Spectrum Analysis. Погрешность измерений не превышала 10%.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРИТИЕМ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ВОДОЗАБОРОВ Г. ОБНИНСКА

Сформировавшийся промышленный узел из радиационно опасных объектов оказывает заметное воздействие на природные ресурсы бассейна и в особенности на пресную гидросферу. Определить роль каждого источника в загрязнении подземных вод в силу скудности предприятий достаточно сложно. Кроме того, вдоль цепочки водозаборов в промышленном водоносном горизонте сформировалась пьезометрическая депрессия площадью более 200 км² с понижением уровня до 42 м и общим гидравлическим уклоном, направленным в сторону, противоположную естественному стоку (в сторону центра московского артезианского бассейна подземных вод). Образовавшаяся пьезометрическая депрессия существенно изменила гидродинамику и геохимию подземных вод, отрицательно повлиявших на качество добываемой воды. В конечном счете химический состав стал определяться пространственно-детерминированным сочетанием природных и техногенных факторов и процессов.

В этих условиях рассеяние радиоизотопов происходит в соответствии с их химическими свойствами и геохимическими особенностями окружающей среды. Наибольшей подвижностью в подземных водах обладает тритий, который может использоваться в качестве трассера миграционных процессов, т.к. практически не задерживается на геохимических барьерах. На рис. 1 представлена карта-схема обследованной территории с выделением ореолов трития с аномальной концентрацией.

Математическим отделом Физико-энергетического института при участии одного

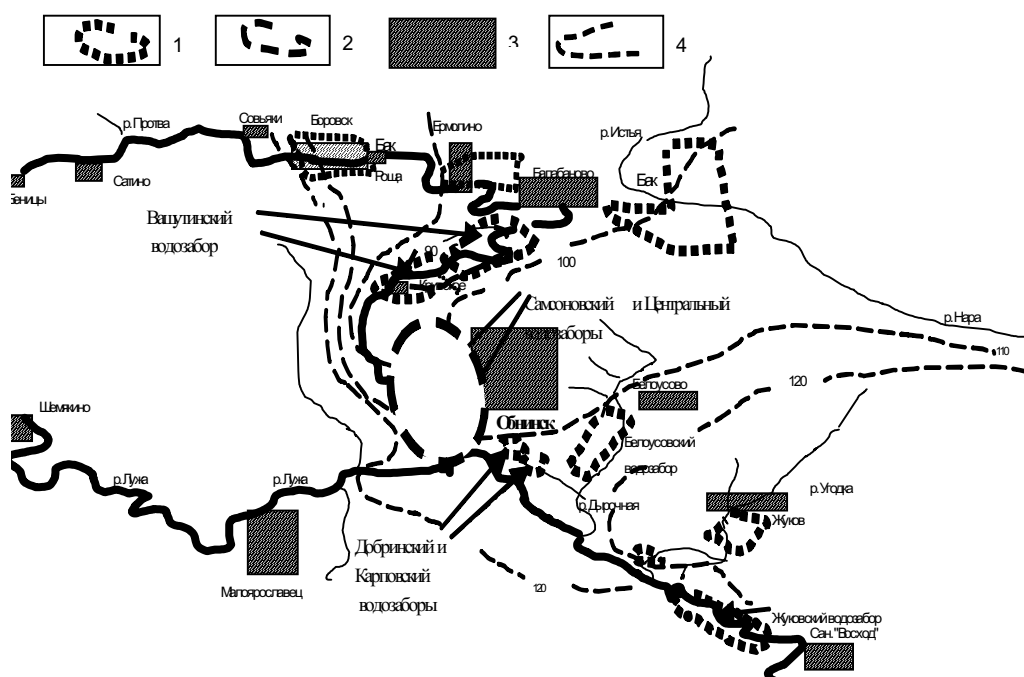


Рис. 1. Участок обследованной территории окско-тарусского водоносного горизонта: 1 – крупные групповые водозаборы; 2 – территория с аномальной концентрацией в воде трития; 3 – населенные пункты (г. Обнинск и его окрестности); 4 – гидроизопьезы уровня горизонта при эксплуатации

из авторов [8] произведены пробные расчеты миграции трития из хранилища РАО по математической модели изотермического нестационарного двухфазного потока постоянной плотности, разработанной А.И. Зининым, Г.А. Зининой, описанной в [9]. Согласно модели, разгрузка трития происходит через комплекс четвертичных отложений. При этом часть трития проходит под дном реки по подошве аллювиальных отложений и затем просачивается в окско-тарусский водоносный горизонт, где вовлекается в инверсионный поток, направленный в сторону Вашутинского водозабора – центра депрессионной воронки. Другая часть ореола разгружается в реку ниже по течению.

Расчетный баланс трития, поступающего из источника за весь период моделирования следующий: 75% трития распадается при движении в подземных водах; 25% трития разгружается в р. Протва, главным образом, через комплекс четвертичных отложений; небольшая его часть – 0,005% – достигает обнинских водозаборов.

Разгрузка трития в Центральный и Самсоновский водозаборы начинается приблизительно одновременно, через 20 лет после начала выщелачивания трития из пункта захоронения. Далее разгрузка растет и устанавливается на постоянном уровне к 70–80 годам модельного времени.

Повышенные концентрации трития в отдельных пробах воды отмечаются на всех обнинских водозаборах подземных вод, однако статистически достоверные границы аномалии трития установлены только на водозаборах Центральный и Самсоновский. Вероятной причиной появления аномалии может служить миграция трития из могильника через четвертичную песчаную толщу одновременно в двух водоносных горизонтах промплощадки: в протвинском (C_{1pr}) при сезонном наполнении и в окско-тарусском (C_{1ok-tr}), как это показано на рис. 2. Гидравлическая связь горизонтов осуществляется на участках литологических окон и, возможно, по затрубному пространству

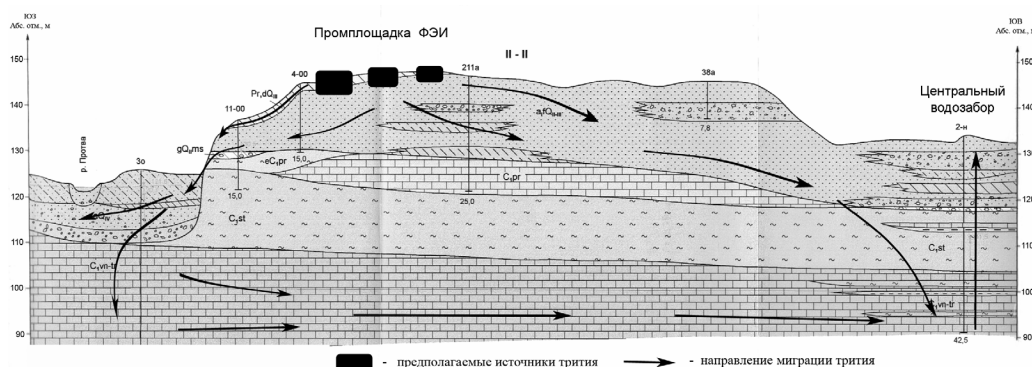


Рис. 2. Схема загрязнения подземных вод тритием на геолого-гидрологическом разрезе.

водозаборных скважин. В этом случае скорости миграции трития от источников к водозаборам возрастают на порядки. Неопределенность интерпретации данных связана с недостаточной изученностью гидродинамики и гидрогеохимии промплощадки.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ г. ОБНИНСКА

Данные измерений концентрации трития в снеге, в воде девяти родников и в водоисточниках г. Обнинска и его окрестностей представлены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что максимальное значение объемной активности для грунтовых вод составило 37 000 Бк/л, что примерно в 5 раз выше уровня вмешательства. Среди водозаборов наибольшее значение объемной активности трития обнаружено в ближайшем к промплощадке ГНЦ РФ-ФЭИ Центральном водозаборе, которое составило около 300 Бк/л, что почти в 75 раз выше фоновых уровней по России, но ниже уровня вмешательства. В других водозаборах централизованного водоснабжения г. Обнинска удельные активности трития колеблются от 1 до 25 значений фонового уровня (4 Бк/л). В родниках, расположенных вблизи промплощадки, наблюдается превышение уровня вмешательства по тритию для питьевой воды. Объемная активность трития в снеге колеблется от фоновых значений на территории г. Обнинска до величин порядка 168 Бк/л. Это говорит о том, что поступление трития в пери-

Таблица 1

Результаты измерений ^3H в пробах воды (март 2005 г.)

Место отбора пробы	Удельная активность ^3H , Бк/л
Родники, окрестности г. Обнинска	1 ÷ 24
Родники у промплощадки ГНЦ РФ – ФЭИ	6290 ÷ 37 000
Скважина №5, соор. 227П	6720
Снег (промплощадка ФЭИ)	9 ÷ 168
Снег (г. Обнинск, вне промплощадки)	<1 ÷ 4
Центральный водозабор, коллектор	291
Самсоновский водозабор, коллектор	102
Вашутинский водозабор	4
Водопроводная вода	2 ÷ 80
Уровень вмешательства	7700

од снеготаяния со снеговой водой разбавляет концентрацию трития в подземных водоносных горизонтах на водозаборах, а на территории ФЭИ повышает фон радиоактивного загрязнения тритием.

Для обеспечения города водой на расстоянии 5–0 км от промплощадки ГНЦ РФ-ФЭИ сооружен ряд водозаборов, которые эксплуатируют протвинский и окско-тарусский водоносные подземные горизонты. В последние годы в некоторых водозаборах зарегистрировано появление техногенного трития (табл. 2).

Таблица 2

Содержание трития в воде скважин городских водозаборов и в водопроводной воде (сводная по данным различных источников [10,11])

Источник	Удельная активность трития, Бк/л							
	УВ	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Центральный водозабор	7700	620	1330	2160	638		452	310
Самсоновский водозабор	7700	200	73		35		43	102
Вашутинский водозабор	7700	13	5		4			4
Добринский водозабор	7700	490	4			3	4	
Городская водопроводная вода	7700				74	70	65	67

Сравнение данных по содержанию трития показывает, что каких-либо существенных изменений в сторону улучшения в картине загрязнения тритием природных вод на территории г. Обнинска и его окрестностей за последние 7 лет не произошло. Результаты свидетельствуют, что в некоторых случаях отмечается стабилизация ситуации (городская водопроводная вода), а иногда и снижение объемной активности трития в контролируемых водных объектах (Вашутинский и Добринский водозаборы). Отметим тот факт, что представленные значения ниже установленных уровней вмешательства [7].

Также приведем данные о распределении трития в пределах аномалии (см. рис. 2) в подземных водах водозаборов, близко расположенных к промплощадке ГНЦ РФ-ФЭИ. Используя массив данных по опробованию водозаборных скважин, с вероятностью аппроксимации $R^2 = 0,80$ степенная зависимость рассеяния трития по мере удаления от территории научного центра имеет вид, показанный на рис. 3. В общем, миграция трития в подземных водах представляется в виде загрязненного потока, направленного вдоль цепочки водозаборных скважин от промплощадки ФЭИ к Вашутинскому водозабору.

Степень разбавления потока трития, поступающего со стороны промплощадки ФЭИ, рассмотрена на профилях, поперечных к долине реки. На водозаборе Центральный степень разбавления потока рассеяния трития по мере удаления от реки характеризуется линейной функцией (рис. 4):

$$C_T = 1,2L - 141,$$

где C_T – концентрация трития в воде, Бк/л; L – расстояние до реки, м.

Анализ распределения трития в водоносном горизонте позволяет количественно оценить ряд важных параметров фильтрационного потока: направление потока, скорость массопереноса, объемы смешивания подземных и речных вод и др. При сравнении параметров рассеяния в воде трития и других химических элементов, можно увереннее разделять техногенные и природные источники, а также уточнять геохимические особенности из миграции, а также оценивать риск для здоровья людей, использующих эту воду для питья.

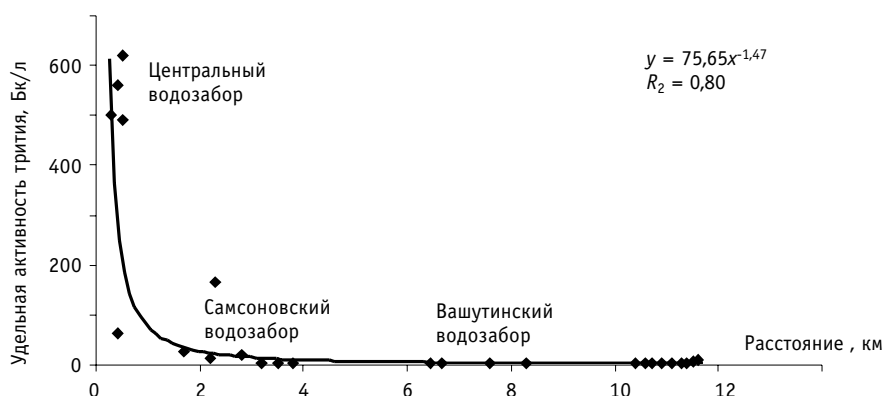


Рис. 3. Изменение удельной активности трития при удалении от промплощадки ФЭИ

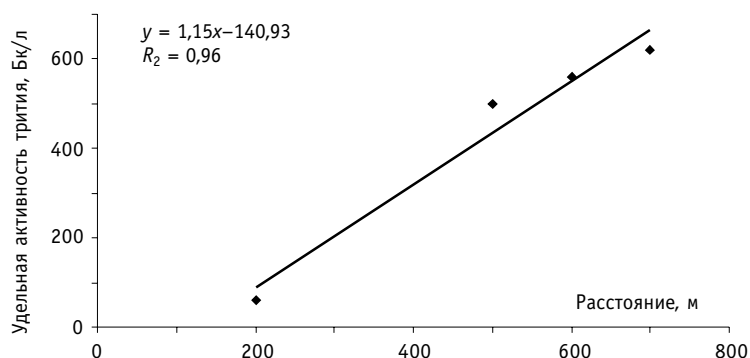


Рис. 4. Зависимость содержания трития в подземных водах от расстояния до русла р. Протвы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была получена целостная картина загрязнения природных вод тритием на территории г. Обнинска и его окрестностей. Приведенные данные об удельном содержании трития в водозаборах, родниках, водопроводной воде, свидетельствуют о том, что интенсивность поступления трития в природные воды с промплощадки ГНЦ РФ-ФЭИ за последние годы не снизилась. Грунтовые воды, поступающие с промплощадки ФЭИ в районе нового хранилища РАО, содержат тритий с удельной активностью, превышающей уровень вмешательства в пять раз. На пути транзита к водозаборам грунтовые воды сильно разбавляются и достигают водозаборных скважин с удельной активностью на порядок ниже уровня вмешательства. При смешивании с водой удаленных от города водозаборов, происходит дополнительное понижение (еще на порядок) содержания трития в питьевой воде, подаваемой населению города (до 67 Бк/л). В общем, хотелось бы отметить, что питьевая вода, поступающая из городских водозаборов, содержит тритий в количествах на 2 порядка ниже уровня вмешательства. За пределами установленной техногенной аномалии концентрация трития в водах водозаборов находится на уровне фона.

Литература

1. Сыныныс Б.И., Тянова Е.Н., Момот О.А., Козьмин Г.В. Техногенный риск и методология его оценки: Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ, 2005. – 76 с.
2. Егоров Ю.А. Оценка радиационной опасности трития, нарабатываемого на АЭС // Экология и промышленность России. – 2003. – № 2. – С. 27–30.

3. *Ларин В.И.* Тритиевая проблема на комбинате «Маяк» // Энергия. – 2002. – № 6. – С. 44-49.
4. *Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации.* Источники и действие ионизирующей радиации/Доклад за 1977 г. Генеральной Ассамблее с приложениями. – Нью-Йорк, 1978. – 382 с.
5. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1997г. Ежегодник / *Под ред. К.П. Махонько.* – СПб.: Гидрометеиздат, 1998.
6. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1995 г. Ежегодник / *Под ред. К.П. Махонько.* – Обнинск: НПО «Тайфун», 1996.
7. Нормы радиационной безопасности НРБ-99: Гигиенические нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
8. *Силин И.И.* Пресные воды севера Калужской области. – Калуга: ВИЭМС, 2005. – С. 228-233.
9. *Дрожко Е.Г., Самсонов Б.Г., Самсонова Л.М., Василькова Н.А., Зинин А.И., Зинина Г.А.* Математическая модель распространения загрязнения в системе объектного мониторинга подземных вод // Вопросы радиационной безопасности. – 1997. – №2. – С. 31-41.
10. *Старков О.В., Вайзер В.И., Богданович Н.Г.* и др. Экологические проблемы урбанизированных территорий в районах размещения предприятий атомной промышленности на примере Обнинского региона // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2003. – № 2. – С. 67-72.
11. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2003 г. Ежегодник / *Под ред. С.М. Вакуловского.* – СПб.: Росгидромет, 2003. – С. 112-121.

Поступила в редакцию 19.10.2006