

СЕЗОННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ

содержания ^{90}Sr в ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ РАЙОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Анализ сезонной динамики ^{90}Sr в поверхностных и грунтовых водах в районе размещения хранилища радиоактивных отходов позволил установить наиболее динамичные периоды изменения объемной активности радионуклида, которым должно уделяться повышенное внимание. По результатам многолетнего мониторинга установлены наиболее информативные пункты контроля, в воде которых динамика изменения ^{90}Sr адекватна гидрологическим сезонам, а его концентрация превышает уровень вмешательства в 6,8-7,6 раз.

Введение

Водные объекты, подверженные радиационному воздействию со стороны объектов атомной энергетики и промышленных предприятий, характеризуются сложным поведением радиоактивных веществ в элементах экосистемы на протяжении длительного времени. Существуют различные каналы утечки радионуклидов с радиационно-опасных объектов, при этом одним из возможных путей их миграции является гидрологический перенос. Необходимо принимать во внимание, что водные среды, подверженные радиационному воздействию, потенциально могут быть объектами хозяйственно-питьевого, культурно-бытового, рыбохозяйственного водопользования. В связи с этим проблема анализа и прогнозирования поведения радионуклидов в пресных поверхностных и подземных водах приобретает все большее значение в связи с нарастанием техногенной нагрузки на территории водосбора.

Настоящая работа посвящена изучению динамики сезонного поведения ^{90}Sr в поверхностных и подземных водах, находящихся в

Г.В. Лаврентьева*,
кандидат

биологических наук,
доцент кафедры
экологии, Обнинский
института атомной
энергетики (филиал
Национального
исследовательского
ядерного
университета
«МИФИ»)

И.И. Силин,

доктор геолого-
минералогических
наук, ведущий
научный сотрудник,
ФГУП Институт
минералогии,
геохимии
и кристаллохимии
редких элементов

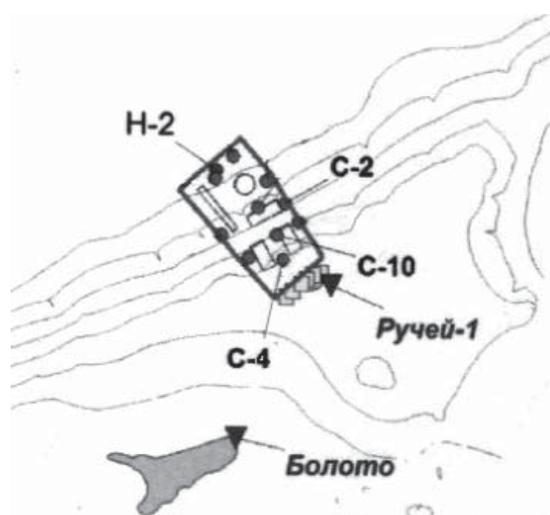


Рис. 1. Схема пунктов отбора проб подземных и поверхностных вод на территории хранилища РАО.

зоне влияния объекта ядерной энергетики – ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского (г. Обнинск, ФЭИ), на территории промплощадки которого располагается хранилище радиоактивных отходов (РАО). В период с 1961 по 1999 гг. отделом радиационной безопасности и охраны окружающей среды ФЭИ проводился контроль активности воды в наблюдательных скважинах, расположенных на территории объекта, а также в близлежащих водных объектах – ручье и болоте (рис. 1). В период с 1998 по 1999 гг. было обнаружено увеличение удельной активности ^{90}Sr от десятых долей до 109 Бк/л в наблюдательных скважинах, что в дальнейшем было объяснено утечкой радионуклидов из емкости хранилища № 4 за счет потери герметичности и в результате ее пере-

* Адрес для корреспонденции: lavrentyeva_g@list.ru

полнения поверхностными и грунтовыми водами [1]. В результате утечки был сформирован в геологических средах объемный радиоактивный источник, который может рассматриваться практически нерегулируемым, что, в свою очередь, обязывает усилить контроль за радиационной обстановкой на территории сопредельной экосистемы и за содержанием техногенных радионуклидов в подземных и поверхностных водах [2, 3].

В 2010 г. были проведены измерения объемной активности ^{90}Sr в пробах воды, отобранных посезонно из наблюдательных скважин и контролируемых водных объектов, в которых ранее была отмечена наибольшая активность радионуклида: в наблюдательной скважине № 4, в ручье, протекающем ниже территории хранилища, и в болоте.

Материалы и методы исследования

Отбор проб из скважин и водоемов производился в соответствии с ГОСТ [4]. Для определения содержания стронция в отобранных пробах был использован метод радиохимического выделения с последующим измерением активности радионуклида на сцинтилляционном спектрометре β -излучения [5, 6].

Радиохимическое определение ^{90}Sr основано на переводе данного нуклида в растворенное состояние путем кислотной обработки и очистки от мешающих радионуклидов, вводе носителя (соли стронция). Подготовка проб воды к анализу заключается в следующем. Пробу воды подкисляют азотной кислотой до pH 1–2 по универсальной индикаторной бумаге, либо по метилоранжу. Затем в воду добавляют носители в виде азотнокислых растворов – 10–20 мг стронция (в пересчете на металл) и кальция из расчета 20 мг/л. Носитель – щелочноземельный элемент (ЩЗЭ) осаждают в виде карбонатов для концентрирования радионуклидов стронция. Другие операции концентрирования ЩЗЭ – упаривание раствора, либо сорбция на катионе $\text{Cu}-2-84$ – требуют больших затрат времени (2–3 сут). Окончательное измерение активности ^{90}Sr проводят по дочернему продукту ^{90}Y после его накопления в анализируемой пробе.

Результаты и их обсуждение

Техногенные радионуклиды могут поступать в грунтовые и поверхностные воды из воздушных выбросов предприятий, водных сбросов, твердых и жидких РАО, складированных на пунктах захоронения. В

Г.В. Козьмин,
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии

А.Н. Васильева,
кандидат технических наук, ведущий специалист, НОУ ДПО Центральный институт повышения квалификации

Б.И. Сынзыныс,
доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, Обнинский институт атомной энергетики (филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»)

Ю.М. Глушков,
кандидат химических наук, доцент кафедры экологии, Обнинский институт атомной энергетики (филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»)

О.А. Момот,
кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, Обнинский институт атомной энергетики (филиала Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»)

каждой отдельной точке водного пространства миграция радионуклидов определяется пространственно-детерминированным сочетанием факторов и процессов, включая химический состав воды, антропогенные факторы, атмосферные воды, смешивание вод, залегающие горные породы, климат местности, химическое и биологическое выщелачивание [7]. Большинство этих факторов могут непосредственно оказывать влияние на сезонное изменение содержания химических веществ в природных водах.

Характеристика стока атмосферных осадков в 2010 г. в г. Обнинск. В гидрологическом отношении 2010 г. не имеет значимых отличий от средних многолетних характеристик. Постоянная отрицательная температура зимы 2009–2010 гг. началась с 6 декабря 2009 г. и продолжалась до 20 марта 2010 г. Снег лег на талую землю и больше в зимние месяцы не таял. За это время выпало 120,8 мм снега. Таким образом, снеготаяние 2010 г. происходило в условиях активной разгрузки снеговых вод через талую почву в подземные горизонты. В таких условиях весеннее половодье характеризуется невысоким паводком и слабым инверсионным перетоком поверхностных вод в подземные водоносные горизонты. Схема суточного распределения осадков и температуры приземного атмосферного воздуха приведена на рис. 2, где отмечены границы гидрологических сезонов.

Переход к устойчивой положительной температуре произошел 20 марта. Эта дата является концом зимней межени и началом весеннего снеготаяния и ливневых дождей. С 20 марта по 18 июня установился период весенних ливневых дождей и активного снеготаяния. В этот период в подземные горизонты и в речную долину поступил основной объем склонового стока (288,1 мм), состоящий из талых вод (120,8 мм) и весенних ливней (167 мм). С 18 июня наступила летняя межень – сухое жаркое лето с редкими непродолжительными дождями. Питание грунтовых вод и поверхностный сток практически прекратились. Объем осадков за 2 летних месяца составил всего 19,7 мм. Летняя межень закончилась 20 августа. Начались ливневые дожди, продолжавшиеся практически непрерывно до 4 сентября, затем с перерывами до самых заморозков. Количество осадков по сравнению с летними месяцами удвоилось и до последнего в этом году замера активности (20 октября) составило 38,5 мм.

Хронология метеорологического мониторинга и временной активности ^{90}Sr в поверхност-

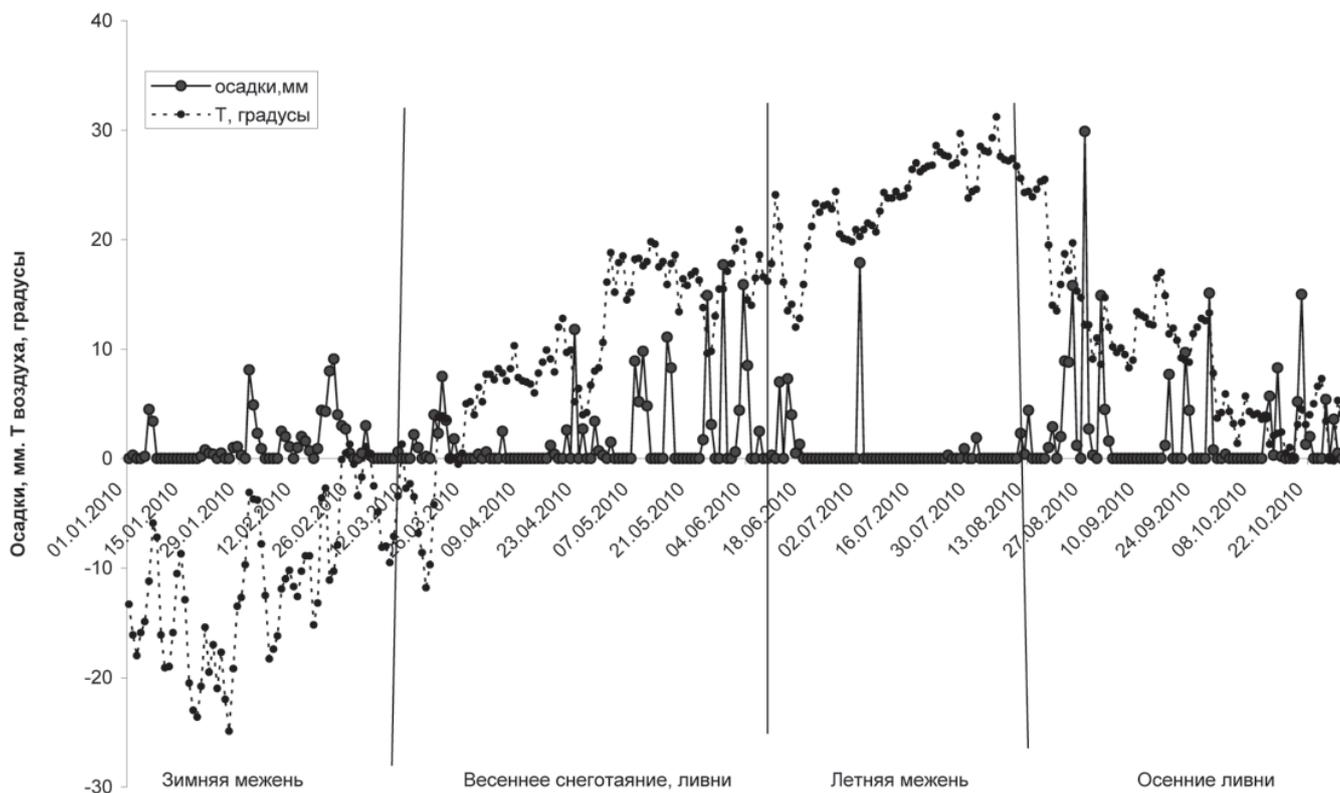


Рис. 2. Гидрологические сезоны 2010 г, по данным метеостанции г. Малоярославец.

ных и подземных водах. Загрязнение грунтовых вод в районе старого хранилища РАО по результатам мониторинга 2010 г. иллюстрируется календарными данными *табл. 1*.

Объемная активность воды в пробе, отобранной из скважины № 4, с изменением гидрологических сезонов варьирует в малом диапазоне. Значение активности ^{90}Sr в грунтовой воде, равное 34 Бк/л, отмечается в период окончания зимней межени и начала снеготаяния и весенних дождей. Проба воды, отобранная 15 июня, характеризует период завершения весеннего снеготаяния. Анализ воды в этот период показал положительную тенденцию уменьшения объемной активности радионуклида, очевидно, за счет остаточного разбавления грунтовых вод дождевыми осадками. Величина активности ^{90}Sr в грунтовой воде в период сухой погоды летней

межени одинакова по содержанию ^{90}Sr в пробе, отобранной в зимнюю межень. Незначительное повышение изучаемого показателя до 38 Бк/л в скважине наблюдается в начале периода осенних ливней, вероятно, из-за того, что в скважине фиксируется фронт осеннего стока.

Сравнение содержания радионуклидов в подземной воде с объемной активностью техногенных радионуклидов в подземных водах средней полосы европейской части России, которые приведены в методических рекомендациях, показывает, что концентрация ^{90}Sr в контролируемой скважине превышает допустимый уровень в 5,8–7,6 раз в разные гидрологические сезоны [8, 9].

Загрязнение поверхностных вод вблизи хранилища РАО по результатам мониторинга 2010 г. иллюстрируется данными *табл. 2*.

Таблица 1

Объемная активность ^{90}Sr в грунтовых водах в районе хранилища РАО

Объект мониторинга	Дата	Объемная активность, Бк/л	Осадки в день замеров, мм	Среднесуточная температура воздуха, °С	Гидрологический сезон
Скважина 4	15.03.10	34±0,5	1	-6,8	Зимняя межень
	15.06.10	29±0,3	7,3	13,5	После половодья
	22.07.10	34±0,8	0	28,6	Летняя межень
	20.10.10	38±0,5	0,2	3,1	Осенние ливни

Таблица 2

Результаты мониторинга поверхностных вод в районе старого хранилища РАО ФЭИ в 2010 г.

Объект мониторинга	Дата	Объемная активность, Бк/л	Осадки в день замеров, мм	Среднесуточная температура воздуха, °С	Гидрологический сезон
Ручей	15.06.10	5±0,8	7,3±0,4	13,4	После половодья
	22.07.10	34±0,9	0	28,2	Летняя межень
	20.10.10	38±1,2	5,2±0,2	1,5	Осенние ливни
Болото	15.06.10	1,5±0,3	7,3±0,4	14,1	После половодья
	22.07.10	0,75±0,08	0	28	Летняя межень
	20.10.10	0,5±0,02	5,2±0,15	15	Осенние ливни

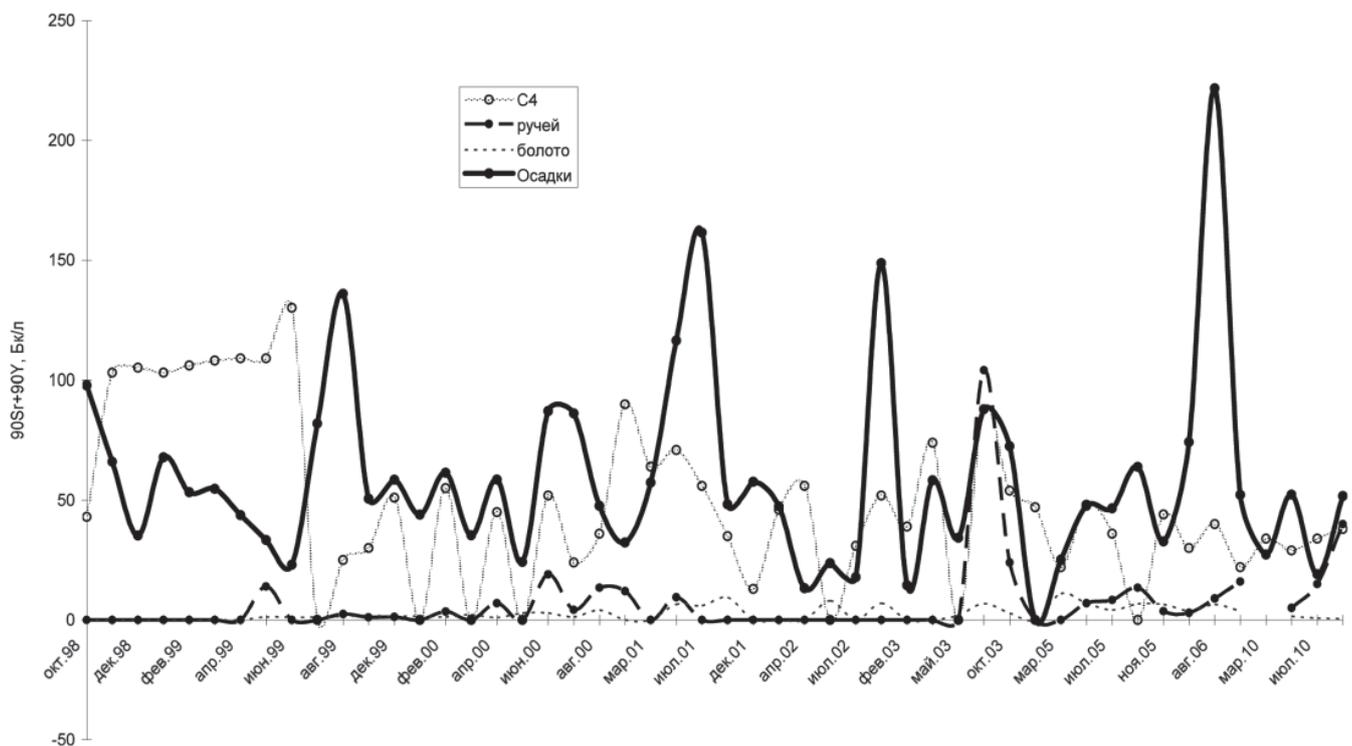
В воде ручья, протекающего ниже по склону, после половодья объемная активность ⁹⁰Sr составила 5 Бк/л. В этот же день в болоте, расположенном в долине того же ручья, активность была 1,5 Бк/л. В сезон летней межени после сухого периода активность ⁹⁰Sr в пробе из ручья возросла до 34 Бк/л, а в пробе из болота снизилась до 0,75 Бк/л. Очевидно, что дождевые осадки разбавили исходную концентрацию ⁹⁰Sr в июне. 19 октября 2010 г. начались осенние дожди, которые обогатили поверхностный сток ⁹⁰Sr, скопившемся в период сухого лета в застойных водах траншей. Концентрация ⁹⁰Sr в воде ручья в 6,8–7,6 раз превысила уровень вмешательства для открытых водоемов (5 Бк/л) в период летней межени и осенних ливней, соответственно [8].

Анализ результатов многолетнего мониторинга ⁹⁰Sr в поверхностных и подземных водах позволяет построить временной тренд, представленный на рис. 3.

На графике видно, что за двенадцать лет мониторинга хранилища РАО концентрация ⁹⁰Sr в водных объектах изменялась неоднократно. Наиболее контрастные изменения активности радиоактивного стронция наблюдались в пробах воды из наблюдательной скважины 4. На интервале декабрь 1998 г. – август 1999 г. отмечалось устойчиво высокое содержание радионуклида, практически независимое от количества осадков.

Резкое понижение активности ⁹⁰Sr в грунтовых водах скважины произошло в лето 1999 г. Начиная с этого периода и до августа 2010 г. графики активности стронция и количества выпавших осадков синхронны. На интервале декабрь 1999 г. – июль 2002 г. наблюдался относительный сдвиг максимумов графиков. Затем до ноября 2005 г. вновь отмечалась синхронность графиков, а в 2006

Рис. 3. Результаты мониторинга ⁹⁰Sr в поверхностных и подземных водах в районе хранилища РАО.



и 2010 гг. – их полное несовпадение. В этом же периоде наблюдалось небольшое понижение радиоактивности вод.

Анализ многолетней динамики выхода ^{90}Sr из хранилища позволяет утверждать, что первый из перечисленных периодов характеризуется транзитным выносом радионуклида в условиях нарушенной изоляции траншей с радиоактивными отходами. Радиоактивные грунтовые воды, заполнявшие траншею, равномерно разгружались в водоносный горизонт, что и зафиксировано опробованием воды из скважины С 4. Смена трендов активности водоносного горизонта произошла в лето 1999 г., когда был произведен ремонт гидроизоляции траншей [1]. Предполагается, что после ремонта выход стронция из траншей временно прекратился и основным источником ^{90}Sr стал грунт обваловки траншей, в котором скопилось изрядное количество радионуклида.

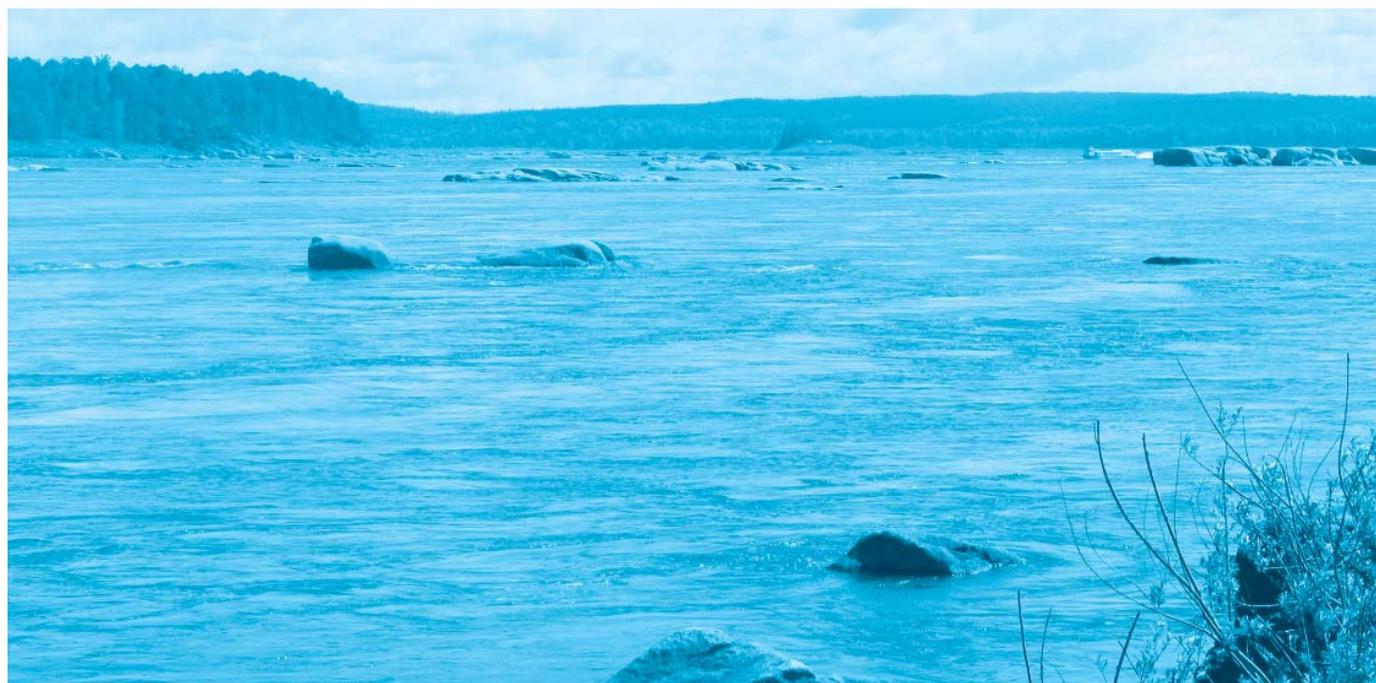
Повторный всплеск активности грунтовых вод зафиксирован на границе тысячелетий. При этом рост радиоактивности воды в наблюдательной скважине запаздывает от даты выпадения осадков на период, необходимый для миграции радионуклида от траншеи до скважины. Уровень активности воды в этот период несколько понижался независимо от количества выпавших осадков, что может быть объяснено частичной сорбцией ^{90}Sr экраном трепела. При насыщении барьера из трепела уровень активности грунтовых вод начал постепенно нарастать и активность стала вновь синхронной дождевым осадкам. Последний интервал диаграммы, охватывающий 2005–2010 гг. показывает,

что радиоактивность грунтовых вод понижалась, а ее связь с метеоусловиями стала неопределенной.

Заключение

Запасы подземных и поверхностных вод, в том числе и загрязненных, продолжают использоваться водозаборами промышленного типа для хозяйственного и питьевого водоснабжения, что приводит к снижению качества питьевой воды, в которой обнаруживается содержание химических элементов, в значительной степени превышающее допустимые показатели. Для обеспечения экологически безопасного, бесперебойного гарантированного водоснабжения необходимо проведение комплекса специальных полевых, лабораторных и теоретических исследований, что обеспечивается описанным выше мониторингом хранилища РАО. На основе обобщения данных систематических наблюдений возможно осуществление оценки, прогноза, управления загрязнением и экологически безопасной эксплуатацией поверхностных и подземных вод с разработкой системы вложенных гидрогеологических моделей разного масштаба.

Результаты мониторинга природных вод в районе размещения хранилища РАО позволили установить наиболее динамичные периоды изменения объемной активности ^{90}Sr , которым должно уделяться повышенное внимание. По результатам многолетнего мониторинга установлены наиболее инфор-



мативные пункты контроля, в воде которых динамика поведения ^{90}Sr адекватна гидрологическим сезонам – скважина С4, ручей, болото.

Литература

1. Васильева А.Н. Оценка влияния регионального хранилища радиоактивных отходов на окружающую природную среду и население // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2007. № 3. Вып. 1. С. 65-73.
2. Козьмин Г.В. Радиоэкологическое исследование на биотопе регионального хранилища радиоактивных отходов / Г.В. Козьмин, С.В. Пяткова, А.Н. Васильева, Б.И. Сынзыныс, Н.Е. Латынова, С.В. Круглов, О.А. Момот // Сборник материалов международной конференции «Радиоэкология: итоги, современное состояние и перспективы». Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2008. С. 217–229.
3. Ершов А.В. Проблемы качества подземных питьевых вод Калужской области на урбанизированных территориях и меры по их целенаправленному применению и улучшению / Ершов А.В., Силин И.И. // Вестник новых медицинских технологий. 2005. Т. XII. № 3 – 4. С. 124.
4. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб.

Ключевые слова:

объемная
активность ^{90}Sr ,
хранилище
радиоактивных
отходов,
природные воды,
гидрологические
сезоны,
уровень
вмешательства

5. Лукьянов В.Б. Измерение и идентификация бета-радиоактивных препаратов. М.: Госатомиздат, 1963. 167 с.
6. Методические рекомендации по санитарному надзору за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. М.: Минздрав СССР, 1980. 336 с.
7. Силин И.И. Пресные воды севера Калужской области. Калуга: ВИЭМС, 2005. 306 с.
8. Подготовка проб природных вод для измерения суммарной α - и β -активности. Методические рекомендации. М.: НПП «Доза», 1997. 24 с.
9. Клочкова Н.В. Радиоэкологическая оценка состояния территории при эксплуатации радиационно-опасного объекта / Н.В. Клочкова, И.П. Коренков, Т.Н. Лащенко // Гигиена и санитария. 2010. № 4. с.13-17.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Гос.контракт № 14.740.11.0193)



G.V. Lavrent'eva, I.I. Silin, G.V. Koz'min, A.N. Vasil'eva, B.I. Synzynys, Yu.M. Glushkov, O.A. Momot

DYNAMICS OF ^{90}Sr SEASONAL BEHAVIOUR IN SURFACE AND UNDERGROUND WATER NEAR RADIOACTIVE WASTE STORAGE SITE

Analysis of ^{90}Sr seasonal dynamics in surface and underground water near radioactive waste storage site revealed the most dynamic periods of volumetric activity of the radionuclide which deserves high attention. The monitoring of many years identified most informative water control places and dynamics of ^{90}Sr behaviour is adequate for hydrological seasons and exceeds (6,8-7,6 times) intervention level.

Key words: volume activity of ^{90}Sr , storage of radioactive waste, natural water, hydrological seasons, intervention level