

ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ БАРЬЕРОВ НА ПУТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ*

А.Н. Васильева*, Г.В. Козьмин, В.И. Вайзер*, О.В. Старков*,
Н.Е. Латынова****

**ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск*

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



В работе представлен анализ имеющихся в настоящее время источников загрязнения окружающей среды в районе размещения старого хранилища радиоактивных отходов (РАО). Дана оценка естественного и возможности создания техногенных защитных барьеров на пути дальнейшей миграции радионуклидов с учетом особенностей рассматриваемого объекта. Установлено, что основным источником ^{90}Sr , поступающего в грунтовые воды, в настоящее время является загрязненный слой почвы, простирающийся на глубину более 12 м. Существующий на аварийной емкости защитный барьер из трепела может отчасти препятствовать проникновению загрязнения в грунтовые воды при развитии ситуации по определенному сценарию. Полученные результаты показывают, что применение дополнительных мер, препятствующих распространению техногенных радионуклидов во внешней среде, на данной территории нецелесообразно. В районе притеррасного понижения, расположенном в нижней части обследуемого объекта, сформировался естественный геохимический барьер на пути распространения ^{90}Sr .

ВВЕДЕНИЕ

Объектом настоящих исследований явилась территория в районе размещения регионального хранилища РАО-единственного пункта захоронения в Центральном регионе в 50-х годах.

Заполнение емкостей проводили с 1954 г. Региональное хранилище в 1961 г. было законсервировано. Объект расположен в черте города в районе городских очистных сооружений за пределами охраняемой зоны промплощадки ГНЦ РФ-ФЭИ. В настоящее время сооружение обнесено железобетонным ограждением, оснащенным в верхней части дополнительным инженерно-физическим барьером.

На территории объекта расположены емкости траншейного типа (№№ 1–4) для хранения твердых радиоактивных отходов (ТРО), а также железобетонная емкость

© А.Н. Васильева, Г.В. Козьмин, В.И. Вайзер, О.В. Старков, Н.Е. Латынова, 2007

* Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования, культуры и спорта Калужской области

(№ 5) для сбора и хранения жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Для осуществления контроля за миграцией радионуклидов имеется 10 наблюдательных скважин [1].

В период с 1961 по 1999 гг. проводили контроль уровней и активности воды в наблюдательных скважинах.

Впервые значительное увеличение активности (от десятых долей Бк/л до ~ 43 Бк/л) было отмечено в октябре 1998 г. в воде скважины № 4 и в верховодке, вытекающей из-под хранилища в виде ручья (табл. 1) [2]. Проведенные измерения показали, что она обусловлена ^{90}Sr .

Таблица 1

Результаты измерения ^{90}Sr в пробах воды, отобранных в районе размещения хранилища (Бк/л)

Дата пробоотбора	Скважина № 4	Ручей	Болото
08.10.1998 г.	42,8	–	–
08.12.1998 г.	108	–	–
29.12.1998 г.	–	2,0	1,3
11.05.1999 г.	–	13,7	2,4
25.05.1999 г.	109	–	–

Уровень вмешательства (УВ) для открытых водоемов для ^{90}Sr составляет 5 Бк/л [3]

В июне 1999 г. было проведено частичное вскрытие емкостей хранения РАО с целью выяснения причин обнаруженного увеличения концентрации стронция.

В результате при вскрытии емкости № 4 было установлено следующее:

- отсеки 1–3 заполнены водой до уровня защитных плит (около 4 м);
- остальные отсеки заполнены водой примерно на 1–2 м;
- емкость заполнена различными ТРО – средствами индивидуальной защиты (перчатки, пневмомаски, пластиковая одежда), металлоконструкциями, строительным мусором, упаковками в полиэтиленовой пленке и пр.;
- у дна емкости в торцевой стене имеется отверстие, образовавшееся в результате разрушения железобетонного монолита.

В пробах воды из нескольких ячеек емкости были обнаружены ^{90}Sr с удельной активностью $5,44 \cdot 10^6$ Бк/м³ и ^{137}Cs с удельной активностью $4,5 \cdot 10^5$ Бк/м³.

Таким образом, поступление радионуклидов за пределы емкости происходило как из-под верхних защитных плит за счет переполнения емкости атмосферными осадками через неплотности в гидроизоляции верхнего периметра, так и через обнаруженную у дна течь.

Удельная активность почвы по ^{90}Sr из-под защитных плит загрузочных люков и у стены траншеи составляла $6 \cdot 10^2$ – $1,2 \cdot 10^5$ Бк/кг (рис. 1).

В 1999 г. проведен комплекс защитных инженерных мероприятий по снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

В частности, для изоляции емкости № 4 проведены следующие работы:

- вода откачана до уровня дна емкости;
- выполнены цементная стяжка, гидроизоляция и бетонное покрытие верхнего перекрытия емкости и боковой стенки в соответствии с проектом;
- затампонирована течь в торцевой стене емкости и сооружена бетонная «заплатка» в соответствии с проектом;
- торцевая стена и верхний периметр емкости обмазаны герметиком типа «Бустилан-К»;

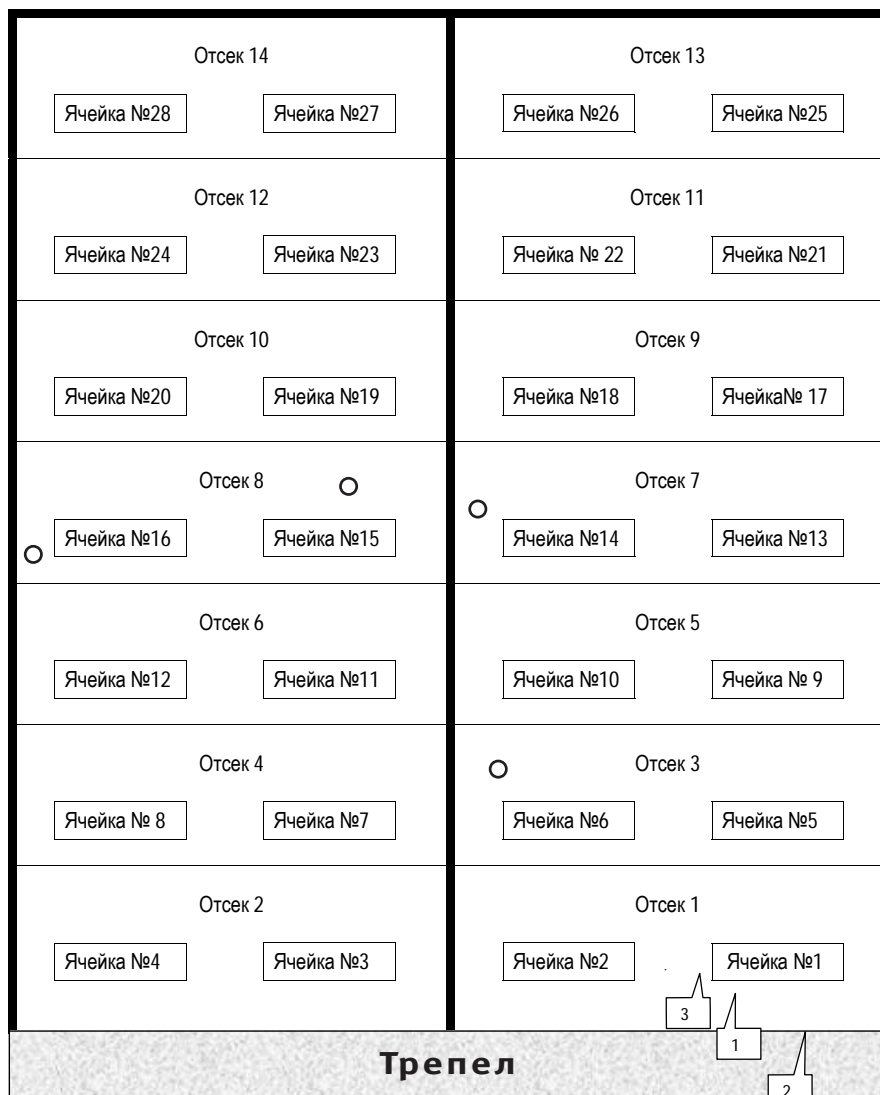


Рис. 1. Схема емкости № 4 с точками пробоотбора: ○ – наблюдательная колонна, ▤ – точки отбора проб

- вдоль торцевой стены емкости создан дополнительный противомиграционный барьер из природного глинистого сорбента трепела размером $10,0 \times 1,0 \times 1,0$ м (рис. 1).

Условия хранения радиоактивных отходов в данном хранилище не соответствуют требованиям многобарьерной защиты. В связи с этим объект может представлять потенциальную опасность для населения и природной среды.

По результатам предыдущих исследований [2–5], в настоящее время на территории прилегающего к рассматриваемому объекту притеррасного понижения имеются локальные очаги существенного загрязнения компонентов геосистем (вод, почв, растительности) техногенным радионуклидом ^{90}Sr . В водах верховодки, выходящей из-под хранилища, отмечается значительное превышение уровней вмешательства (УВ) [6] по удельной активности ^{90}Sr (до 109 Бк/л) и ряду токсичных металлов (концентрация марганца, например, достигает 999 мкг/л). Значи-

тельное содержание радиоактивного стронция также было обнаружено в почве и растительности исследуемой территории (до $2,3 \cdot 10^4$ и 743 Бк/кг соответственно). Загрязнение исследуемой территории ^{137}Cs незначительно и сосредоточено в основном вблизи емкости № 1, предназначенной для хранения низкоактивных отходов (НАО) и не имеющей дополнительных защитных барьеров. Радиационная обстановка полностью обусловлена ^{90}Sr в силу его большой подвижности в окружающей среде.

Геоморфологическое изучение территории выявило ряд факторов, благоприятствующих миграции радионуклидов и распространению их за пределы хранилища: наличие разнообразных эрозионных форм, промывной водный режим зоны аэрации, легкий механический состав подстилающих пород, наличие водоупоров (суглинков) для загрязненной верховодки и ее выход на поверхность.

Миграция радионуклидов обуславливается, главным образом, перемещением с поверхностным и внутрипочвенным латеральным стоком, а также инфильтрацией в грунтовые воды и дальнейшим распространением в горизонте грунтовых вод. Аккумуляция происходит на сорбционном барьере заболоченного притеррасного понижения и, вероятно, щелочном барьере на контакте с отложениями известняков.

В данной работе представлен анализ имеющихся в настоящее время источников загрязнения окружающей среды в районе размещения хранилища, а также оценка естественного и техногенного защитных барьеров и возможности проведения дополнительных мероприятий, препятствующих дальнейшей миграции радионуклидов, с учетом особенностей рассматриваемого объекта.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ДИНАМИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ХРАНИЛИЩА

В ходе изучения радиационной обстановки в районе размещения обследуемого объекта отделом РБ и ООС отбирались пробы воды из наблюдательных скважин и водоемов, расположенных в окрестностях хранилища. В исследуемой воде из техногенных радионуклидов обнаружен только ^{90}Sr . Вероятно, это связано с тем обстоятельством, что стронций обладает большей подвижностью в окружающей среде.

С целью уточнения источников загрязнения ^{90}Sr района размещения хранилища, а также динамики выхода из них данного радионуклида был проведен мониторинг воды из наблюдательных скважин близлежащих водоемов с одновременным замером уровней воды.

Динамика уровней воды в наблюдательных скважинах регионального хранилища представлена на рис. 2. Самый высокий уровень воды наблюдается в скважине № 4, расположенной между емкостями №№ 3 и 4 и в скважинах №№ 5 и 10, также пробуренных в нижней части хранилища.

Значимые содержания радионуклида стронция обнаружены только в скважине № 4. Вероятно, это связано с тем обстоятельством, что основной сток с места расположения аварийной емкости № 4 происходит в направлении этой скважины.

Результаты измерений удельной активности воды из наблюдательной скважины № 4 и места выхода верховодки из-под забора в нижней части регионального хранилища по ^{90}Sr и уровня воды представлены в табл. 2 и на рис. 3.

По полученным данным наблюдается общая тенденция роста удельной активности ^{90}Sr с повышением уровня воды в скважине, хотя при этом и отмечаются некие колебания содержания стронция в воде (рис. 3). Таким образом, основным источником ^{90}Sr образовался в результате потери герметичности емкостью № 4, вы-

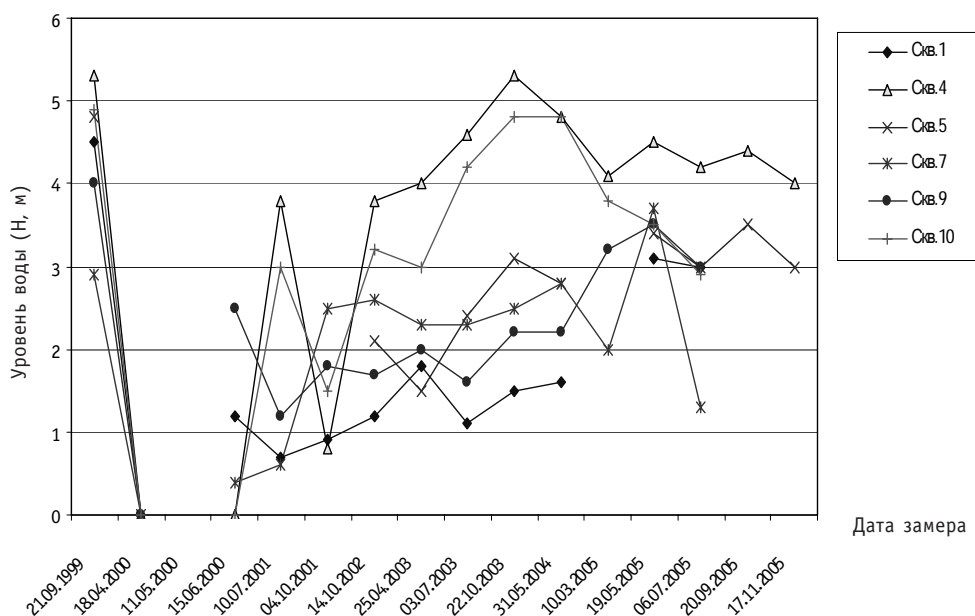


Рис. 2. Временная динамика уровней воды в наблюдательных скважинах глубиной 12 м регионального хранилища

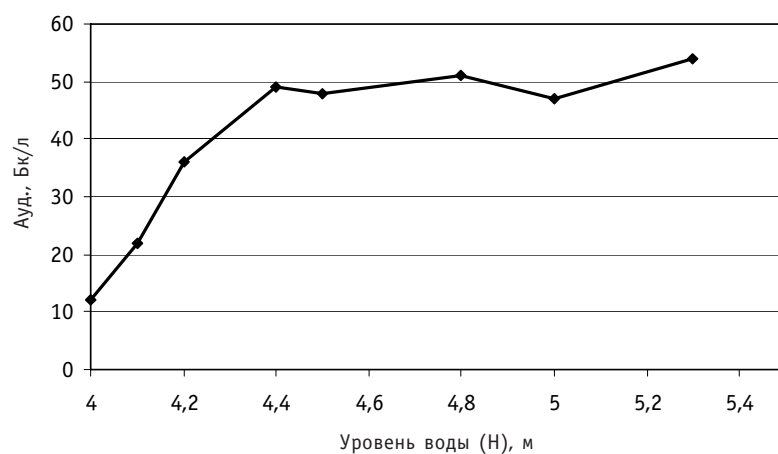


Рис. 3. Зависимость удельной активности ^{90}Sr в воде наблюдательной скважины № 4 от уровня воды

Таблица 2

Данные измерений уровня воды и содержания ^{90}Sr в пробах из наблюдательной скважины № 4 и места выхода верховодки из-под забора в нижней части регионального хранилища

Место п/отбора	Дата п/отбора	2003 г.	2004 г.				2005 г.			
		22.10	25.02	23.06	11.10	10.03	19.05	13.07	20.09	
Скв. № 4	Уровень воды, м	5,3	5	4,8	4	4,1	4,5	4,2	4,4	
	$A_{уд.} (^{90}\text{Sr}), \text{Бк/л}$	54	47	51,2	12	22	48	36	49	
Т. 6а	$A_{уд.} (^{90}\text{Sr}), \text{Бк/л}$	–	–	109	–	–	46	52	–	

хода и миграции стронция во внешней среде и неполного удаления загрязненного грунта, откуда радионуклид вымывается грунтовыми водами. По мере подъема почвенные воды достигают участков с более высокой концентрацией данного радионуклида, что возможно и приводит к увеличению его содержания в воде скважины № 4, в особенности с учетом направления основного стока с территории размещения емкости № 4. При этом может иметь место и вымывание радиоактивного стронция атмосферными осадками через неплотности или необнаруженные дефекты емкостей №№ 3 и 4.

По результатам измерений в т. 6а, расположенной на территории притеррасного понижения в направлении основного стока с территории хранилища, также можно предположить существование дополнительного источника стронция (например, со стороны емкости № 3). Концентрация данного радионуклида в пробах, отобранных в этой точке, порой в 2 раза превышает значения, полученные при измерении активности воды из скважины № 4. Наблюдаемое снижение удельной активности стронция при подъеме воды в наблюдательной скважине № 4 выше уровня 4,4 м можно объяснить достижением максимальной степени вымывания радионуклида из почвы и разбавлением (до меньших концентраций) при дальнейшем увеличении объема грунтовых вод. Подъем вод могут обеспечивать осадки и, как уже рассматривалось в предыдущих работах, канализация, водопровод, отстойники очистных сооружений – аэротенки [2].

Если у каких-либо аэротенков в силу их ветхости имеется гидравлическая связь с грунтовыми водами, то уровень воды в скважине № 4 будет изменяться в суточном режиме. Это связано с тем обстоятельством, что город сбрасывает стоки неравномерно (ночью большинство предприятий не работает, а в другие периоды суток отстойники переполняются). Поэтому представляется необходимым изучить суточный режим уровней. Кроме того, изучать влияние антропогенных стоков лучше в зимний период, когда не мешают дожди.

ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ БАРЬЕРОВ НА ПУТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

Как было упомянуто выше, с целью предотвращения выхода радионуклидов за пределы аварийной траншеи и их дальнейшей миграции с почвенными водами при проведении защитных мероприятий с внешней стороны емкости № 4 был сооружен дополнительный барьер из глинистого сорбционного материала – трепела. Согласно документальным данным, вода из траншеи была откачана до уровня дна. Таким образом, указанный барьер должен работать в случае нового поступления влаги в емкость № 4, которое может осуществляться следующими путями (рис. 4):

- 1) просачиванием атмосферных осадков через неплотности верхнего периметра;
- 2) попаданием почвенных вод сквозь негерметичности в железобетонном монолите.

В первом случае при попадании в траншею атмосферных осадков и при отсутствии отверстий в железобетонном монолите, помимо места расположения барьера из трепела, выход активности во внешнюю среду не произойдет до момента переполнения емкости. Однако впоследствии накопившаяся вода будет изливаться через неплотности верхнего периметра и распространяться по поверхности почвы. Возможно при таком сценарии миграция радионуклидов на глубину в грунт, а затем с грунтовыми водами будет большей частью предотвращена сорбцией на верхних слоях почвы, содержащих большие количества илистой и органической фракций по сравнению с нижними горизонтами.

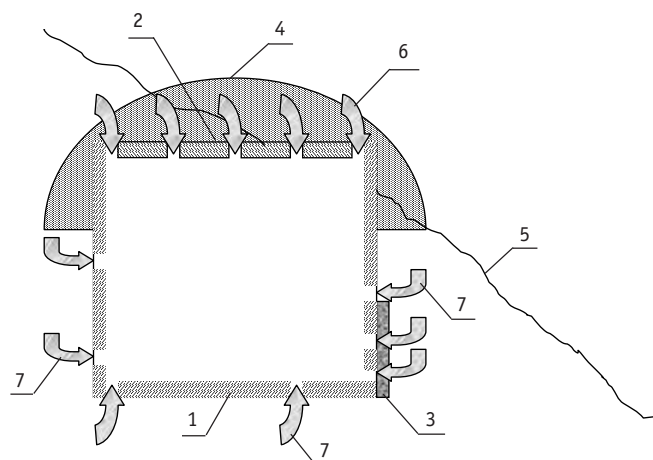


Рис. 4. Пути поступления влаги в емкость для хранения отходов: 1 – железобетонный монолит; 2 – защитные плиты верхнего перекрытия; 3 – техногенный защитный барьер из трепела; 4 – верхняя обваловка из грунта; 5 – линия склона; 6 – первый путь поступления влаги в емкость – просачивание атмосферных осадков через неплотности верхнего периметра; 7 – второй путь поступления влаги в емкость – попадание почвенных вод сквозь негерметичности в железобетонном монолите

В случае попадания почвенных вод сквозь негерметичности в железобетонном монолите барьер обеспечивает защиту только со стороны своего размещения, однако в указанном месте, по мнению автора, интенсивного поступления влаги происходить не будет по причине уклона местности в этом направлении. Через данную торцевую стену скорее происходит сток уже содержащейся в емкости влаги.

Наиболее эффективными из защитных мероприятий по предотвращению выхода радионуклидов во внешнюю среду, выполненных в 1999 г. на аварийной емкости № 4, представляются откачка воды, гидроизоляция верхнего периметра и установка бетонной «заплаты» на месте течи у дна емкости. Барьер из трепела в данном случае носит страховочный характер. В целом, отсутствие многобарьерной защиты при сооружении емкости № 4 явилось причиной того, что безопасность указанной емкости в значительной степени зависит от сохранения целостности бетонного монолита (в том числе и со стороны дна) с течением времени.

Как было установлено в ходе исследований, в районе расположения аварийной траншеи образовался объемный источник ^{90}Sr , простирающийся на глубину более 12 м. По причине таких обширных размеров распространения загрязнения, а также легкого состава подстилающих грунтов, сооружение каких-либо противомиграционных технических барьеров на данной территории реально не представляется возможным. Меры по увеличению почвенной фиксации стронция и уменьшению перехода его в растительность типа известкования, эффективны только на кислых почвах, к таковым, по результатам определения pH, не относятся грунты исследуемой территории. В данном случае, препятствием также является распространение ^{90}Sr на значительную глубину.

Несмотря на такие прогнозы, результаты изучения миграции радиоактивного стронция в районе размещения хранилища РАО, а также форм нахождения данного радионуклида в почвах показывают, что основная часть загрязнения аккумулируется в районе заболоченного притеррасного понижения, а доля подвижного ^{90}Sr невелика. Грунты данной территории содержат большие количества илистой и органической фракций, способствующих необменной фиксации стронция в почвенном комплексе и предотвращению его дальнейшей миграции, что также под-

тверждается результатами измерений образцов ила, отобранных с другой стороны дороги, огибающей район расположения болотца, и сельскохозяйственной растительности на одном из приусадебных участков расположенного неподалеку садового общества. Возможное распространение стронция с грунтовыми водами также не представляет опасности для здоровья населения, о чем свидетельствуют результаты измерений проб воды, отобранных в колодцах вышеупомянутого садового общества. Таким образом, район притеррасного понижения, расположенный в нижней части обследуемого объекта, характеризуется ландшафтно-геохимическими условиями, при которых происходит аккумуляция и достаточно прочная фиксация ^{90}Sr в почвенном комплексе (естественный геохимический барьер на пути распространения радионуклида) и снижение его подвижности во внешней среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Радиационная обстановка в районе размещения регионального хранилища РАО полностью обусловлена ^{90}Sr .

2. Загрязнение техногенным радионуклидом ^{137}Cs не получило распространения за пределы территории хранилища и не представляет ощутимой опасности для окружающей среды, поэтому не требует сооружения каких-либо дополнительных защитных барьеров.

3. Наблюдается общая тенденция роста удельной активности ^{90}Sr с повышением уровня воды в наблюдательной скважине. Основным источником ^{90}Sr , поступающего в грунтовые воды, в настоящее время является загрязненный слой почвы, простирающийся на глубину более 12 м, образовавшийся в результате аварийного выхода и миграции стронция во внешней среде и неполного удаления загрязненного грунта.

4. Основной вклад в предотвращение выхода техногенных радионуклидов из емкостей хранилища внесли откачка воды из аварийной емкости, устранение течи, расположенной у ее дна и восстановление гидроизоляции. Сооруженный в сентябре 1999 г. на аварийной емкости дополнительный защитный барьер из трепела также отчасти может препятствовать проникновению загрязнения в грунтовые воды при развитии ситуации по определенному сценарию.

5. Сооружение каких-либо дополнительных технических барьеров или применение мер, направленных на снижение подвижности ^{90}Sr во внешней среде, на данной территории не представляется возможным по причине обширных размеров распространения загрязнения, легкого состава подстилающих грунтов, а также химических свойств почв.

6. По результатам предыдущих исследований, район притеррасного понижения, расположенный в нижней части обследуемого объекта, характеризуется ландшафтно-геохимическими условиями, при которых происходит аккумуляция и достаточно прочная фиксация ^{90}Sr в почвенном комплексе (естественный геохимический барьер на пути распространения радионуклида) и снижение его подвижности во внешней среде.

Литература

1. Васильева А.Н., Козьмин Г.В., Латынова Н.Е., Старков О.В., Вайзер В.И. Общие закономерности загрязнения геосистем в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2007. – № 2. – С. 64-74.
2. Латынова Н.Е., Вайзер В.И., Козьмин Г.В. и др. Изучение геосистем в районе хранилища твердых радиоактивных отходов с целью обоснования радиэкологического мониторинга / Сб. докл. III Международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов». – Владимир, 2005. – С. 243.

3. *Силин И.И.* Экология и экономика природных ресурсов бассейна р. Протвы (Калужская и Московская области). – Калуга: ВИЭМС, 2003. – С.324
4. *Васильева А.Н., Сынзыныс Б.И., Ульянова Л.П., Ковалев О.А., Сморицкая О.А., Старков О.В., Латынова Н.Е., Круглов С.В., Момот О.А., Козьмин Г.В.* Оценка загрязнения биоценоза в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов с использованием грызунов в качестве тест-объекта / Радиационная биология. Радиоэкология (в печати). – 2006.
5. *Силин И.И.* Экология севера Калужской области. Ч. 1 и 2: Учебное пособие для студентов, изучающих экологию. – Обнинск: ИАТЭ, 2003. – С.139.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. – М.: Минздрав России, 1999. – С.115.

Поступила в редакцию 15.12.2006

visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 11 pages, 2 tables, 1 illustration. – References – 5 titles.

The estimation of efficiency of the analysis of emergencies on the investigated parameters and the reasons causing an emergency are formulated. On it basis a number unexplored initial events determining safety of reactor and the atomic power station is carried out. Initial date, initial and boundary conditions for the settlement analysis of emergencies are formulated. The settlement analysis of emergencies covered with complete set COAI for the concrete NPP is carried out. Actions of operation personnel in support of technical systems of safety on management of emergencies are developed and proved with the purpose of change over the power unit in a final safe condition. It is shown, that in all investigated emergencies and state it is provided (systems of safety independently or systems of safety and their support by operation personnel) change over reactor in a final safe condition and maintenance of sub-criticality, heat removal from core and maintenance of integrity of fuel elements, localization of radioactive substances in the set borders. All developed recommendations are included in corresponding instructions.

УДК 504.5: 621.039.7

Estimation of Influence of Regional Radioactive Waste Storage on Natural Environment and the Population \ A.N. Vasilyeva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 9 pages, 1 table, 3 illustrations. – References – 13 titles.

In article results of researches of a technical and ecological condition of radioactive waste storage (RWS), located in the North are submitted to the Kaluga area, in Obninsk, and taking place in operation with 1954 on 1961. The reasons and ways of radionuclide receipt on adjacent with a platform of storage accommodation territory are investigated. It is shown, that migration of radionuclides caused by the occurred infringements of tightness of capacities of storage, and also by geomorphological features of territory. Results of radiating, chemical and biological monitoring are submitted. According to radiating monitoring ^{137}Cs pollution has not distributed for limits of territory of storage. It is established, that the basic source of radioactive pollution is ^{90}Sr . The low contents of mobile forms ^{90}Sr in polluted soils of lowland by the terrace is marked. The given circumstance is caused as properties of the natural environment (carbonate soils), and a construction of a geochemical barrier on the basis of the zeolites, limiting migration ^{90}Sr . Ways of receipt ^{90}Sr in people organisms in this case are absent, probably only radiating influence in small doses on some biological objects in area of RWS accommodation. Increased contents of proteins-metallothioneines (MT) – a parameter of general technical environmental contamination is registered in soft tissues of overland molluscs, kidneys and a liver of the mice caught in a zone of accumulation of radioactive and toxic substances. Among changes of parameters of peripheral blood of the mice living in surveyed territory, for skilled group reduction of the contents of leukocytes on 14,5 % is marked only in comparison with the control. Results of biotesting, most likely, are caused not only the radiating factor, but also the registered pollution of the natural environment by heavy metals.

УДК 504.5: 621.039.7

The assessment of protective barriers against radionuclide migration in the region of the radioactive waste storage situation \ A.N. Vasilyeva, G.V. Kozmin, V.I. Vaizer, O.V. Starkov, N.E. Latynova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 9 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References – 6 titles.

The analysis of existent sources of environment contamination in the region of the old radioactive waste storage situation is presented in this paper. The assessment of the natural barriers and possibility of technical protective barrier creation against radionuclide migration was carried out. The peculiarities of the researched object were taken into account. It have been determined the main source of ^{90}Sr entering into groundwaters – contaminated soil layer. The thickness of this layer is about 12 meters. Under certain conditions the existent protective trepel barrier of the emergency trench partly prevents from contamination entry into groundwaters. There is no meaning in a using of the additional artificial barriers to reduce ^{90}Sr mobility in environment because of peculiarities of contamination source and researched territory. The natural geochemical barrier on the migration way of ^{90}Sr was formed in the region of the lower part of researched object. The additional measures against the possible entry of radioactive strontium into groundwaters and human organism were proposed.

УДК 621.039.54

Test Methods of VVER Fuel with Simulating Transitive and Emergency Modes In the MIR Reactor \ A.V. Alekseev, A.V. Burukin, A.L. Izhutov, V.V. Kalygin, I.V. Kiseleva, V.A. Ovchinnikov, V.N. Shulimov. – Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Hight Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2007. – 9 pages, 6 tables, 4 illustrations. – References, 12 titles.