

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГЕОСИСТЕМ В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ХРАНИЛИЩА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

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

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

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



Объектом настоящих исследований явилось загрязнение геосистем в районе размещения хранилища радиоактивных отходов траншейного типа, созданного с 1954 по 1961 гг. в ГНЦ РФ-ФЭИ. Составлена топографическая основа площадки хранилища РАО и изучены геоморфологические особенности исследуемой территории. Отмечается превышение уровня вмешательства (УВ) и предельно-допустимых концентраций (ПДК) в грунтовых водах по ^{90}Sr и ряду токсичных металлов соответственно [1, 2]. Существенное загрязнение геосистем свидетельствует о необходимости проведения оценки состояния природной среды и изучения возможных путей поступления вредных веществ в компоненты природной среды. В первую очередь необходимо оценить возможность и скорость проникновения загрязненных грунтовых вод на их территорию и определить (в случае необходимости) степень воздействия ^{90}Sr и других искусственных радионуклидов на человека при поступлении их с водой и сельскохозяйственной продукцией.

ВВЕДЕНИЕ

Проект хранилища разработан Московской проектной конторой (МПК) в 1955 г. Площадь, занимаемая хранилищем, составляет 0,54 га.

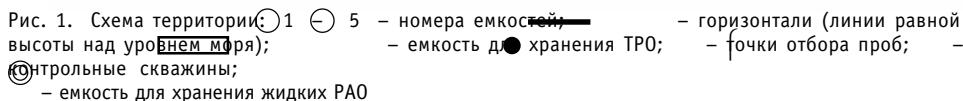
Емкости траншейного типа (№№ 1, 2, 3 и 4) (рис. 1) предназначены для хранения ТРО. На территории хранилища расположена также железобетонная емкость (№ 5) для сбора и хранения ЖРО. Для осуществления контроля за миграцией радионуклидов пробурено 10 наблюдательных скважин.

Заполнение траншей ТРО проводили с 1954 г.; в 1961 г. региональное хранилище было законсервировано.

Анализ хроники событий, составленной по архивным данным ФЭИ (табл. 1), показал, что основной объем ЖРО из емкости № 5 был вывезен и переработан в 1974 г.

В период с 1961 по 1999 гг. проводили контроль уровней воды в наблюдательных скважинах и измеряли ее радиоактивность. Одновременно на территории хранилища шел неконтролируемый рост соснового леса и подлеска.

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



В 1990–1991 гг. провели бурение дополнительных наблюдательных скважин вместо устаревших и пришедших в негодность.

Хроника событий на территории регионального хранилища РАО с 1954 по 2005 гг.

№ п/п	Годы	События
1	1954	Заполнение емкости № 1 (ТРО).
2	1955	Проектирование регионального хранилища.
3	1955 – 1961	Заполнение емкостей № 2 (ТРО), № 3 (ТРО), № 4 (ТРО), № 5 (ЖРО).
4	1961	Прекращение заполнения емкостей отходами и консервация хранилища.
5	1974	Перевозка ЖРО из емкости № 5 на переработку.
6	1990 – 1991	Бурение наблюдательных скважин вместо устаревших.
7	1961 – 1998	Контроль радиоактивности воды в наблюдательных скважинах. Рост соснового леса и подлеска.
8	1998 (окт. – нояб.)	Увеличение радиоактивности воды в наблюдательной скважине № 4.
9	1998 (окт. – дек.)	Вскрытие обваловок емкостей.
10	1999 (август)	Обнаружение утечки радиоактивности из емкости № 4 и проведение защитных мероприятий.
11	1999 – 2004	Контроль радиоактивности воды в скважинах регионального хранилища и в водоемах, расположенных вблизи хранилища.
12	2005	Комплексное радиоэкологическое обследование воды, почвы, растительности на территории и в ближней зоне хранилища.

Многолетние наблюдения (1961 – 1998 гг.) ГНЦ РФ – ФЭИ за уровнем активности радионуклидов в наблюдательных скважинах хранилища показывали соответствие фоновым значениям радиоактивности. Впервые значительное увеличение активности (от десятых долей Бк/л до уровня вмешательства (УВ) = 5 Бк/л [1]) отмечено в октябре 1998 г. (табл. 2). Проведенные гамма- и бета-спектрометрические измерения показали, что радиоактивность воды обусловлена ^{90}Sr .

Таблица 2

Результаты измерения ^{90}Sr в пробах воды, отобранных на территории хранилища и ближней зоны (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	–	–

В 1998–1999 гг. проведен комплекс защитных инженерных мероприятий по снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

Условия хранения радиоактивных отходов в данном хранилище не соответствуют современным требованиям многобарьерной защиты. Оно представляет потенциальную радиационную опасность для населения и природной среды.

С целью исследования условий миграции и аккумуляции радионуклидов в районе размещения регионального хранилища РАО были проведены комплексные радиоэкологические исследования:

- 1) описание природных геосистем, подвергшихся радиоактивному загрязнению;
- 2) определение геолого-гидрологических и геолого-геоморфологических характеристик, влияющих на процессы миграции радионуклидов в природных водах;
- 3) выявление мест локализации радионуклидов и определение факторов их аккумуляции;
- 4) определение характера распределения радионуклидов в почвенных профилях контрольных точек;
- 5) определение химического состава подземных вод в пределах территории хранилища и поверхностных вод прилегающих к нему водных объектов.

ОБОБЩЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Изучаемая территория расположена в пределах Смоленско-Московской ландшафтной провинции в средней части бассейна р. Протва. Хранилище радиоактивных отходов (РАО) находится в нижней части склона надпойменной террасы долины Протвы. Расстояние до р. Протва составляет 1000 – 1200 м. Абсолютные отметки меженного уровня реки – 121–122 м. В 100 м от границы хранилища РАО начинается пойма реки. В 50 м от хранилища находится заболоченное притеррасное понижение, питаемое преимущественно грунтовыми водами (верховодкой), по которому протекает ручей, подпруженный автодорогой. По другую сторону автодороги расположено садовое общество. Естественный сток характеризуемой территории формируется на водоразделе. Общая площадь водосбора данной территории составляет порядка 25 000 м², а общий расчетный сток 12,3 м³/сут. В поток, питающий верховодку под емкостью № 4, попадает часть общего стока, определяемая параметрами площадки и расположением емкостей.

Временные водотоки берут начало из-под территории хранилища в районе точек 6, 6а и 7б и существуют они непродолжительное время после обильных дождей и в период снеготаяния.

С целью уточнения литологического строения участка в июле 2004 г. была пробурена скважина в верхней части хранилища (табл. 3).

Таблица 3

Описание литологической основы территории хранилища ТРО

Глубина, м	Характеристика породы
От 0 до 0,5	Насыпной грунт
Свыше 0,5 до 8,8	Песок аллювиальный разнотернистый
Свыше 8,8 до 11,7	Песок аллювиальный мелкозернистый слабоглинистый
Свыше 11,7 до 13,5	Суглинок моренный с большим содержанием гравия и гальки
Свыше 13,5 до 15,7	Песок флювиогляциальный разнотернистый с галькой и гравием
Свыше 15,7 до 16,8	Гравийно-галечные и песчаные флювиогляциальные отложения

ИЗУЧЕНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

На первом этапе работ по формированию системы радиоэкологического мониторинга в районе хранилища ТРО методами полевых маршрутных наблюдений, заложения и описания ключевых точек ландшафтно-геохимических профилей, а также изучения данных бурения определены возможные пути миграции радионуклидов за пределы хранилища ТРО и места их аккумуляции на геохимических барьерах.

Геоморфологическое изучение территории выявило ряд факторов, благоприятствующих миграции радионуклидов и распространению их за пределами хранилища.

Поверхностный сток

Уклоны местности около 10–15° способствуют развитию плоскостной (делювиальный сток) и линейной эрозии. Геоморфологическое изучение местности показало наличие маломощного (не более метра в нижней части склона) делювиального шлейфа, который представляет собой переотложенные покровные суглинки. Наличие разнообразных эрозионных форм: почти прямолинейных ложбин вдоль линий максимального уклона свидетельствует о высоких скоростях временных водотоков, на юго-западе от хранилища расположен активно растущий овраг, размываемый временными водотоками ливневой канализации.

Внутрипочвенный латеральный сток

Благоприятствующими факторами являются промывной водный режим зоны аэрации, легкий механический состав подстилающих пород (хорошо перемытые флювиогляциальные пески средне- и мелкозернистые) (табл. 1), значительные уклоны местности. На глубине 6 м в средней части склона террасы и около 3 м в нижней части пески подстилаются суглинками, являющимися водоупором для верховодки, в нижней части склона они выходят на поверхность и здесь происходит разгрузка подземных вод.

Детальное изучение микро- мезорельефа местности, проведенное в процессе маршрутных наблюдений, показало, что на месте хранилища проходила ложбина шириной 3–4 м и глубиной около 1 м, по ложбине осуществлялся сток дождевых и талых вод. При сооружении хранилища территория была выровнена, тем не менее, верхняя часть ложбины ясно прослеживается в рельефе выше по склону от хранилища и служит своеобразным водосбором поверхностных вод. Вполне логично предположить, что в пределах бывшей ложбины и осуществлялся повышенный внутрипочвенный

сток, который продолжается и в настоящее время. Ниже хранилища, на расстоянии примерно 7 м, на линии днища бывшей ложбины наблюдается периодический выход внутрипочвенных вод. Данные измерений проб воды показали здесь самые высокие значения удельной активности ^{90}Sr . Одним из дополнительных источников грунтовых вод в данном случае могут быть аэротэнки расположенных рядом с хранилищем (выше по склону) городских очистных сооружений. Из возможных трещин сточные воды могут поступать в почву, следуя общему уклону местности.

Инфильтрации ^{90}Sr в грунтовые воды благоприятствуют следующие факторы: промывной водный режим зоны аэрации при значительном количестве атмосферных осадков, дополнительное увлажнение за счет застоя влаги у верхнего забора хранилища, легкий механический состав подстилающих пород. Водоупорный горизонт (глины) по данным бурения в июле 2004 г. находится на глубине около 16 м. Грунтовые воды отмечены в основном на глубине 6,8 м, межпластовые – значительно ниже.

Учитывая значительный, на наш взгляд, вклад латеральной внутрипочвенной миграции радионуклидов за пределы хранилища, можно предположить также и инфильтрацию их с атмосферными осадками и талыми водами в горизонт грунтовых вод. Для определения степени воздействия хранилища ТРО на прилегающие геосистемы были заложены два профиля в нижней части ландшафтной катены (рис. 2).

Места для заложения профилей выбирались на основании полевых маршрутных исследований. В пределах каждого профиля были выбраны наиболее репрезентативные точки, в которых проводилось описание компонентов геосистем (табл. 4). Отбирались образцы почв, растительности и вод. Отбор проб почв проводился послойно через каждые 5 или 10 см с учетом расположения генетических горизонтов. Из верхнего 5-сантиметрового слоя отбиралась средняя проба.

Профиль №1 заложен по линии наибольшего уклона второй надпойменной террасы Протвы в пределах территории хранилища и непосредственно ниже нее по склону. Верхняя точка расположена в верхней части территории хранилища, следующая

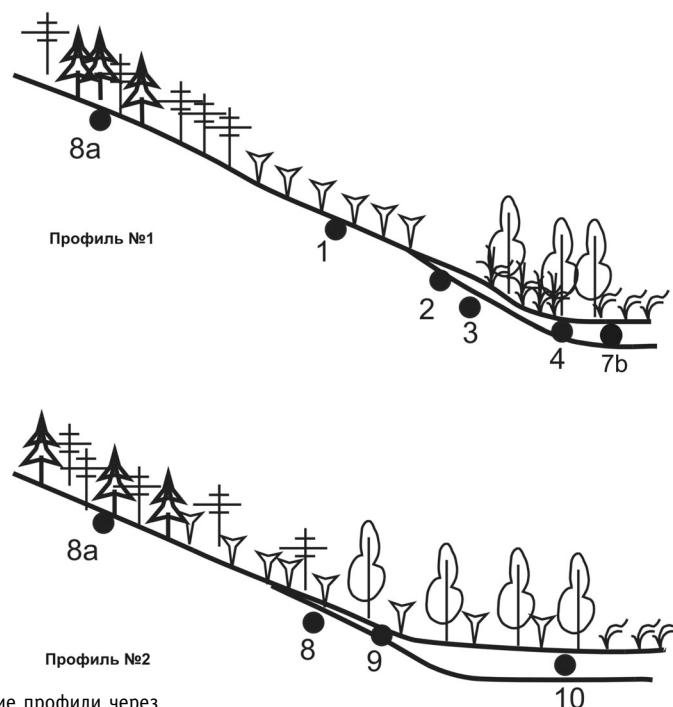


Рис. 2. Схематические профили через исследуемые геосистемы

– под четвертой (аварийной) емкостью, далее – за пределами его территории на перегибе склона. Нижняя точка расположена в аккумулятивной супераквальной геосистеме притеррасного понижения.

Профиль №2 заложен параллельно в 50 м к юго-западу от первого по линии наибольшего уклона второй надпойменной террасы. Точки второго профиля закладывались на траверсах точек профиля №1 в транзитных и аккумулятивных геосистемах, являющихся фоновыми по отношению к измененной геосистеме территории хранилища.

Фоновые геосистемы представлены широколиственно-светлохвойными трансэлювиальными геосистемами на склоне второй надпойменной террасы с дерново-слабоподзолистыми почвами на флювиогляциальных песках и аккумулятивными супераквальными геосистемами сырых логов под сероольшанниками, ивняками и низинными лугами в притеррасном понижении поймы реки на дерново-глеевых почвах [3].

В районе хранилища геосистемы склона террасы были нарушены в ходе строительства около 50 лет назад, когда был полностью нарушен почвенный покров, растительность и значительно изменен рельеф территории. В конце 90-х годов после обнаружения и затем ликвидации утечки из емкости № 4 на территории хранилища была полностью вырублена древесная растительность. В настоящее время данное урочище находится на стадии ренатурализации. Древесный ярус отсутствует, в травянистом преобладает вейник лесной, клевер красный, встречается осот, одуванчик, земляника, мышиный горошек, пижма. В пределах хранилища почвенный покров был полностью нарушен и в настоящее время представляет собой слаборазвитые дерновые почвы на песчаных отложениях, местами (в нижней части площадки) под 40-сантиметровым слоем песка обнаруживается погребенная дерново-слабоподзолистая намытая почва на делювиальных суглинках. Значительные изменения испытали и геосистемы нижней части склона террасы, находящиеся ниже хранилища. В настоящее время здесь на намывных делювиальных суглинках сформировались дерновые намывные почвы, в растительном покрове доминируют крапива и малина.

Геоморфологические особенности местности позволяют предположить, что миграция радионуклидов осуществляется вниз по склону преимущественно внутрипочвенным стоком в пределах ранее существовавшей здесь ложбины, аккумуляция – в пределах притеррасного понижения. Возможно также накопление радионуклидов и в верхних горизонтах почв, обогащенных гумусом и тонкими глинистыми частицами. Для проверки этого предположения были выбраны указанные профили, отобраны пробы почв и воды из болотца притеррасного понижения.

ДАННЫЕ РАДИАЦИОННОГО И ХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Для пробоотбора были выбраны наиболее репрезентативные точки, в которых проводилось описание компонентов природных или природно-антропогенных геосистем. Места пробоотбора отмечены на карте-схеме территории хранилища (рис. 1). Отбор проб грунта производился послойно через каждые 5 или 10 см с учетом расположения генетических горизонтов на глубину до 70 м с помощью бура площадью поперечного сечения ~ 50 см² и лопаты с использованием рулетки. Из верхнего слоя 5 см методом «конверта» (по одной пробе из четырех углов квадрата со стороной 1 м и из его центра – на пересечении диагоналей с последующим перемешиванием) отбиралась средняя проба.

В ходе предварительного исследования из техногенных радионуклидов, вышедших за пределы емкостей хранилища вследствие потери ими герметичности, были обнаружены только ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs. Измерения ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в пробах проводили с использованием аттестованных методик и спектрометрических установок [4]: ¹³⁷Cs – методом полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием Ge(Li) детектора; ⁹⁰Sr –

на сцинтилляционном спектрометре бета-излучения «БЕТА-01С» (НПЦ «Аспект», г. - Дубна, Россия) после радиохимического выделения экстракционным концентрированием и последующей очисткой стронция из азотно-кислой вытяжки хлороформным раствором краун-эфира ДЦГ18К6 с последующим измерением в-активности дочернего продукта – иттрия.

Средние значения запаса ^{90}Sr , определяемого в верхнем 10-сантиметровом слое почвы, в пределах исследуемых профилей и в области притеррасного понижения представлены на рис. 3.

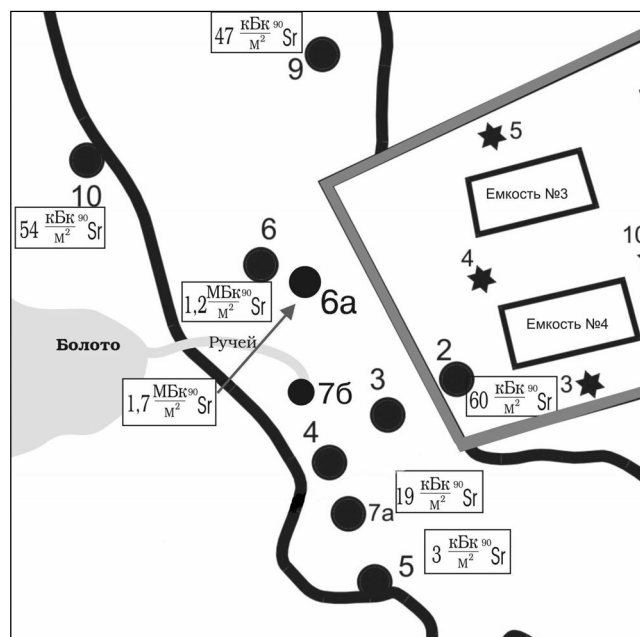


Рис. 3. Загрязнение ^{90}Sr в области локализации радионуклидов

Точка 8 а находится в верхней части склона и характеризует общее техногенное загрязнение района хранилища, не связанное с хранением РАО. Загрязнение ^{137}Cs некоторых участков территории хранилища и сопредельных участков притеррасного понижения возможно вызвано перемещением грунта во время проведения защитных мероприятий (1999 г.). Следует отметить, что основная часть активности ^{137}Cs (~ 60 %) за пределами хранилища сосредоточена в верхнем горизонте толщиной не более 10 см. Такое распределение соответствует характерному распределению радионуклидов по профилю почвы в естественных экосистемах [5]. На территории хранилища распределение радионуклидов по профилю почвы более равномерно.

Загрязнение исследуемой территории ^{137}Cs незначимо. Этот вывод можно сделать, сопоставляя максимальную плотность загрязнения ^{137}Cs (~ 7 kBq/m^2) с плотностью загрязнения данным радионуклидом, установленной для зоны проживания с льготным социально-экономическим статусом (от 37 до 185 kBq/m^2) в соответствии с Законом «О социальной защите граждан, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы». Здесь также необходимо отметить, что участок с максимальным загрязнением ^{137}Cs расположен на территории хранилища (за железобетонным ограждением) и закрыт от доступа населения.

Радиозэкологическая обстановка в районе хранилища РАО полностью обусловлена ^{90}Sr . Геоэкологическое исследование района притеррасного понижения позволило выявить участок локализации ^{90}Sr (рис. 3).

Таблица 4

Описание геосистем и удельное содержание техногенных радионуклидов в почве

№ точки пробо- отбора	Описание геосистем	A _{уд.} , Бк/кг*	
		⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
1	Флювиогляциальные и аллювиальные песчаные отложения. Почвенный покров нарушен. «Новый» А1 мощностью 5–7 см. Разнотравно-злаковая растительность с участием бобовых (клевер) (сеяный луг).	30	68
2	Флювиогляциальные и аллювиальные песчаные отложения. Почвенный покров нарушен. Погребенные почвы на делювиальных суглинках (переотложенные покровные суглинки) перекрыты 40 см толщей песчаных отложений. «Новый» А1 мощностью 5–7 см. Разнотравно-злаковая растительность с участием бобовых (клевер) (сеяный луг).	45	12
3	Поверхность – делювиальные суглинки. Намытая дерновая средне-тяжелосуглинистая почва. Кустарник (малина, лещина), в травянистом ярусе доминирует крапива.	69	11
4	Поверхность не заболочена, покрыта слоем делювиальных суглинков. Намытая дерновая с признаками оподзоливания средне-тяжелосуглинистая почва. Оляха, во втором ярусе – лещина, травянистый ярус – разнотравье со значительным участием крапивы.	64	9
6а	Илистые отложения мощностью 2–10 см. Оляха, ива, осина, камыш.	12590	9
7	Илистые отложения мощностью 2–10 см. Оляха, ива, осина, камыш.	45	6
7а	Илистые отложения мощностью 2–10 см. Оляха, ива, осина, камыш.	93	6
7б	Илистые отложения мощностью 2–10 см. Оляха, ива, осина, камыш.	9900	5
7в	Илистые отложения мощностью 2–10 см. Оляха, ива, осина, камыш.	630	7
8	Флювиогляциальные и аллювиальные песчаные отложения. Поверхность нарушена ~ 40 лет назад. Смешанный лес: рябина, лещина, в травостое – ландыш, копытень, земляника, крапива.	10	5
9	Дерново-подзолистая намытая почва на делювиальном суглинке подстилается песками. Смешанный лес: сосна, береза, рябина, лещина, липа, в травостое – ландыш, копытень, крапива, осока.	26	8
10	Поверхность заболочена, покрыта илистыми отложениями с включением слаборазложившихся растительных остатков. Преобладают таволга, камыш.	150	5

* – средние значения в верхнем слое (0 – 5 см) почвы.

Исследования распределения ⁹⁰Sr по профилю почвы и грунта показали почти равномерное распределение этого радионуклида на глубину до 70 см (точка 9 в нижней части склона террасы за пределами хранилища). Данное обстоятельство позволяет предположить, что радиоактивное загрязнение сопредельной территории вызвано двумя факторами: поверхностным стоком с территории хранилища и внутрипочвенной миграцией ⁹⁰Sr со стороны объемного источника, сформировавшегося на территории хранилища, в его нижней части, за время утечки радионуклидов из аварийной емкости.

Пробы воды отбирали из наблюдательных скважин глубиной 12 м, водоемов, расположенных в районе размещения объекта: ручья, болота и в месте выхода грунтовых вод на поверхность. Объем проб составлял 2–10 л, в зависимости от наличия воды в скважине.

Отбор проб из наблюдательных скважин осуществлялся с помощью специального закрепленного на тросе пробоотборника, опускаемого в скважину. Одновременно производился замер уровней воды в наблюдаемых скважинах и водоемах: разность глубин между первым плесом и ударом пробоотборника о дно.

По полученным данным наибольшая концентрация радионуклида ⁹⁰Sr наблюда-

Таблица 5

Результаты химического анализа проб воды с территории регионального хранилища и ближней зоны

Место пробоотбора	pH	Жесткость, мг-экв/л	Cl ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	Примечание
Скважина № 1	8,70	2,02	4,30	5,84	небольшой осадок
Скважина № 4	8,15	11,68	10,20	11,00	осадок
Скважина № 5	8,05	3,40	7,60	1,64	осадок
Скважина № 7	7,65	10,30	6,92	11,10	осадок
Скважина № 9	7,95	6,16	1,62	21,30	небольшой осадок (муть)
Скважина № 10	7,45	10,58	9,80	13,00	небольшой осадок (муть)
Выход верховодки в точке 6а	8,00	7,82	32,00	27,30	хлопья
Выход верховодки в точке 7в	6,82	–	–	–	–
Болото	7,95	3,40	9,40	3,06	муть
Ручей	7,15	10,00	10,00	0,00	обильный осадок

ется в воде в месте выхода верховодки в Т. 6а (~ 100 Бк/л), что в двадцать раз превышает УВ по ⁹⁰Sr для вод открытых водоемов (5 Бк/л) [1].

В водах наблюдательной скважины № 4 и ручья, протекающего вблизи хранилища, удельная активность ⁹⁰Sr составляет около 50 Бк/л. Концентрация радиоактивного стронция в болоте и в месте выхода верховодки в Т. 6 иногда в 2 – 5 раз превышает уровень вмешательства для открытых водоемов (5 Бк/л). Содержание данного радионуклида в воде других наблюдательных скважин много меньше уровня вмешательства.

Содержание радионуклида ¹³⁷Cs в пробах воды находится на уровне фона.

Получены результаты инструментального химического анализа подземных вод из скважин на территории хранилища, выходов верховодки и воды болотца в притеррасном понижении за пределами хранилища (см. табл. 5, 6). Содержание макроэлементов определялось методом атомной абсорбции на приборе Varian 250 Plus после необходимого разбавления пробы дистиллированной водой и добавления супрессантов (соли Cs и Sr) для подавления ионизационных помех. Концентрацию микроэлементов измеряли атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой на приборе Varian Liberty II после предварительного концентрирования подкисленной пробы путем упаривания в 8 – 10 раз в кварцевой чашке. Перед анализом на содержание макро- и микроэлементов, пробы воды фильтровались через бумажный фильтр «синяя лента» и стабилизировались добавлением концентрированной азотной кислоты из расчета 1–2 мл HNO₃ на 1 л воды.

Для определения содержания анионов в пробах воды, отобранных из района размещения хранилища, использовали спектрофотометр СФ-26.

Жесткость воды исследуемых проб не превышает уровня, характерного для природных вод данного региона. Значения pH соответствуют классификации по группам природных вод от нейтральных до слабощелочных. Обращает на себя внимание высокое содержание анионов хлора, что не характерно для природных вод данного региона. В воде скважин 4 и 5 имеет место очень высокое содержание таких токсичных металлов как марганец и цинк. Отмечена высокая концентрация никеля в воде скважин 4, 5, 7. Такое превышение содержаний химических элементов в исследуемых пробах может быть объяснено выносом за пределы емкостей продуктов коррозии металлоконструкций и прочих содержащихся в них отходов.

Таблица 6

Катионный состав воды, отобранной в районе расположения временного хранилища отходов

Место отбора пробы	Концентрация, мг/л						Концентрация, мг/л									
	K	Na	Ca	Mg	Sr	Al	Fe	Mn	Zn	Ni	Cu	Cr	Co	Cd	Pb	
Подземные воды																
Скважина 1	0,46	2,95	19,7	14,7	58	3,27	5,2	1,54	15,3	2,76	2,74	0,51	0,19	0,013	7,01	
Скважина 4	2,35	3,63	248,6	19,0	483	3,57	128,4	1187	1364	318,2	1,53	0,02	5,74	0,298	2,60	
Скважина 5	0,17	2,42	146,6	19,5	155	7,85	11,6	2463	687	134,5	1,11	0,18	0,60	0,095	0,44	
Скважина 7	0,67	3,28	282,0	12,4	276	9,31	10,8	105	11,3	179,2	2,77	0,004	0,75	0,138	5,13	
Скважина 9	0,23	2,27	202,3	14,7	130	6,12	10,4	69	1363	65,3	2,19	0,21	0,80	0,315	2,10	
Скважина 10	0,64	3,21	236,6	22,9	159	7,71	19,8	563	1363	44,8	3,92	2,68	0,65	0,271	13,9	
Поверхностные воды																
ПДК*	–	200	–	–	7000	500	300	100	1000	100	1000	500	100	1	30	
Выход верховодки в точке 6	–	–	–	–	486,28	28,18	14,99	967,41	6,83	9,58	6,48	–	0,37	–	–	
Выход верховодки в точке 6а	–	–	–	–	538,74	23,90	5,41	14,42	5,18	6,63	5,91	–	–	–	–	
Выход верховодки в точке 7в	0,65	–	134,10	18,50	334,03	26,25	33,96	999,69	5,58	5,72	8,96	6,23	0,02	0,16	–	
Ручей	1,68	4,22	92,60	10,30	282,00	8,02	19,80	11,20	11,40	3,20	2,59	0,17	0,20	0,02	2,51	
Болото	0,97	4,09	204,90	19,60	242,00	1,76	10,60	1,44	10,10	1,12	3,09	0,16	0,08	0,01	2,78	

* – ПДК в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в районе хранилища РАО ГНЦ РФ-ФЗИ, были получены следующие основные результаты:

- 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 радионуклидов происходит на сорбционном барьере заболоченного притеррасного понижения;
- благоприятствующими факторами интенсивной миграции радионуклидов являются промывной водный режим зоны аэрации, легкий механический состав подстилающих пород (хорошо перемытые флювиогляциальные пески средне- и мелкозернистые), значительные уклоны местности;
- радиоэкологическая обстановка в районе хранилища РАО полностью обусловлена ^{90}Sr ; геоэкологическое исследование района притеррасного понижения позволило выявить участок локализации ^{90}Sr за пределами территории регионального хранилища; исследование содержаний ^{90}Sr в различных горизонтах почвы показали почти равномерное распределение этого радионуклида на глубину до 70 см;
- по всей видимости, радиоактивное загрязнение сопредельной территории вызвано двумя факторами: поверхностным стоком с территории хранилища и внутрипочвенной миграцией ^{90}Sr со стороны объемного источника, сформировавшегося на территории хранилища, в его нижней части, за время утечки радионуклидов из аварийной емкости;
- наблюдается существенное превышение содержаний некоторых химических элементов в воде контрольных скважин по сравнению с концентрациями в грунтовых водах, протекающих за пределами зоны воздействия хранилища, в связи с выносом за пределы емкостей продуктов коррозии металлоконструкций и прочих содержащихся в них отходов техногенного происхождения.

Представленные результаты показывают необходимость изучения процессов миграции радионуклидов и тяжелых металлов и экологической оценки состояния природной среды.

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. – М.: Минздрав России, 1999. – С.115.
2. *Опекунов А.Ю.* Экологическое нормирование. – С.-П.: СПб., ВНИИ Океангеология, 2001. – 216 с.
3. *Латынова Н.Е., Вайзер В.И., Козьмин Г.В. и др.* Изучение геосистем в районе хранилища твердых радиоактивных отходов с целью обоснования радиоэкологического мониторинга / Сб. докл. III Международной научно-практической конференции «Экология речных бассейнов». – Владимир, 2005. – С. 243.
4. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / Под общ. ред. А.Н. Мареев и А.С. Зыковой. – М.: Атомиздат, 1980.
5. *Козьмин Г.В., Круглов С.В., Яцало Б.И. и др.* Основы ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения: Учеб. пособие / Под общ. ред. А.П. Коржавого. – М.: МГТУ, 2004. – 184 с.
6. *Моисеев А.А., Иванов В.И.* Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 243 с.

Поступила в редакцию 14.07.2006