

**А.Б. Майзик<sup>1</sup>, И.П. Коренков<sup>2</sup>, А.Г. Цовьянов<sup>2</sup>, Т.Н. Лащенко<sup>2,3</sup>, В.Н. Ключков<sup>2</sup>**

## **КОМПЛЕКСНЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХРАНИЛИЩ РАО**

1. АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара», Москва. E-mail: darveterin@yandex.ru;
2. Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва;
3. Российский институт дружбы народов, Москва

А.Б. Майзик – зам. главного инженера, нач. службы, аспирант; И.П. Коренков – г.н.с., к.т.н., д.б.н., проф.; А.Г. Цовьянов – зав. лаб.; Т.Н. Лащенко – в.н.с., к.х.н., д.б.н., проф.; В.Н. Ключков – г.н.с., д.т.н., доцент

### **Реферат**

**Цель:** Разработка комплексных организационных и методических подходов к выводу из эксплуатации приповерхностных хранилищ твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО).

**Материал и методы:** В ходе выполнения оценки радиационно-гигиенической обстановки проводились следующие исследования:

- оценка состояния физических барьеров хранилищ (емкостей) твердых и жидких РАО;
- оценка радиационной обстановки территории хранилищ до и после рекультивации;
- измерение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в грунтовых и подземных водах, керне, грунтах, строительных конструкциях.

Методы исследования: пешеходная  $\gamma$ -съемка;  $\gamma$ -спектрометрическое измерение радионуклидов в объектах окружающей среды с помощью стационарного спектрометра; радиохимическое выделение радионуклидов и радиометрия их проб.

**Результаты:** Обследования проведены в 2014–2016 гг. Получены данные о мощности дозы  $\gamma$ -излучения на территории площадки расположения хранилищ РАО, удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в подземных и грунтовых водах, керне, грунте, строительных конструкциях.

Показано, что в подземных водах содержание  $^{90}\text{Sr}$  варьировало от 0,25 до 0,4 Бк/кг, а  $^{137}\text{Cs}$  – ниже пределов обнаружения (0,01 Бк на пробу). Установлено, что распределение  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почве (керне), слагающей верхнюю часть разреза территории, характеризуется крайней неравномерностью. В ряде случаев удельная активность грунта превышала 1000 Бк/кг (скважина С-23 на глубине 2,75 м и скважина С-24 на глубине 5 м). Во всех остальных случаях удельная активность керна не превышала 10 Бк/кг, а удельная активность грунта варьировала до 50 Бк/кг, что выше фоновых значений. Мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на территории варьировала от 0,1 до 0,3 мкЗв/ч.

Всего осуществлено более 6 700 измерений: более 2 400 измерений МАЭД, более 4 100 измерений  $\beta$ -загрязнения рабочих поверхностей, оборудования и более 200 измерений удельной и объемной активности проб окружающей среды.

После рекультивационных работ содержание радионуклидов в почве и подземных грунтовых водах находилось на уровне фоновых значений.

**Выводы:** Обоснованы технические решения, порядок учета и контроля РАО, использование защитных укрытий и передвижных систем для обеспечения радиационной безопасности персонала и защиты окружающей среды.

Показано, что средние дозы внешнего облучения персонала, осуществляющего работы по выводу из эксплуатации, не превышали 0,7 мЗв (разброс от 0,16 до 1,7 мЗв), а дозы внутреннего облучения варьировали от 0,35 до 3,3 мкЗв.

Плотность  $\beta$ -активного загрязнения территории не превышала 38  $\beta$ -частиц/(см<sup>2</sup>·мин), что соответствует фоновым значениям для территории. Уровни МАЭД территории после окончания работ находились в пределах 0,09–0,15 мкЗв/ч.

**Ключевые слова:** жидкие и твердые радиоактивные отходы, хранилища, удельная и объемная активность, вывод из эксплуатации, дезактивация, рекультивация

Поступила: 28.08.2019. Принята к публикации: 18.04.2019

### **Введение**

Работы по выводу из эксплуатации ядерных установок, радиационноопасных объектов, хранилищ РАО являются сравнительно новым направлением, которое будет актуальным в течение длительного времени.

Данная тематика тесно связана с важнейшим направлением работы Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Эта деятельность направлена на ликвидацию объектов «ядерного наследия», создание механизмов прекращения их деятельности, защиты персонала, населения и окружающей среды [1].

В ходе выполнения Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на период 2016–2020 гг. и 2030 г.» [2], к настоящему моменту ликвидировано 4 открытых водоема – хранилищ РАО, вывезено и размещено на долговременное хранение более 25 тыс. отработанных тепловыделяющих

сборок (ОТВС), переведено в безопасное состояние отработанное ядерное топливо (ОЯТ) активностью  $7,6 \cdot 10^{15}$  Бк. Частично решены проблемы Теченского каскада водоемов «ПО Маяк» [1].

Проблеме вывода из эксплуатации радиационноопасных объектов уделяется большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом.

Среди отечественных работ, в первую очередь, необходимо отметить одну из первых публикаций – Енгатова И.А., Машковича В.П. и соавт. [3], а также публикации [4–7].

Зарубежный опыт по выводу из эксплуатации ядерных установок, радиационноопасных объектов, защите персонала, населения и окружающей среды обобщен в очень важном двухтомнике, выпущенном под редакцией И.И. Линге и А.А. Абрамова [8–9]. Актуальность данного направления не вызывает сомнения.

Цель работы – разработка комплекса организационных и методических подходов к выводу из эксплуатации приповерхностных хранилищ РАО.

### Материал и методы

В ходе выполнения работы были проведены следующие исследования:

- оценка состояния физических барьеров хранилищ;
- пешеходная  $\gamma$ -съемка с использованием портативного спектрометрического комплекса МКС-01А «Мультирад-М» (пределы измерения 0,03–10 мкЗв/ч, неопределенность  $\pm 25\%$ );
- удельная активность радионуклидов в почве, керамике и строительных конструкциях;
- объемная активность подземных и грунтовых вод.

Методики выполнения измерений (МВИ) аттестованы в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009 [10].

Измерение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  проводилось с использованием  $\gamma$ -спектрометра фирмы Canberra с блоком детектирования BE5030810188. Геометрия измерения и масса образца подбирались таким образом, чтобы неопределенность не превышала  $\pm 20\%$ .

Определение  $^{90}\text{Sr}$  (после радиохимического выделения) осуществлялось на установке УМФ-2000 в соответствии с руководством по радиационному мониторингу окружающей среды [11].

Работа по выводу из эксплуатации регионального хранилища радиоактивных отходов (сооружение 227) осуществлялась в Физико-энергетическом институте им А.И. Лейпунского, (ФЭИ) Обнинск.

Сооружение 227 создано в 1955 г. для промежуточного хранения удаляемых, не кондиционированных твердых РАО. Срок эксплуатации проектом не был установлен. Учитывая, что сооружение находилось в эксплуатации более 50 лет и место для его размещения в 1955 г. было выбрано без учета развития Обнинска и использования прилегающих к нему земель, то в начале 2000-х гг. этот объект оказался расположенным на территории города, вокруг которого в настоящее время ведется интенсивная хозяйственная деятельность.

Загрузка емкостей-хранилищ твердыми радиоактивными отходами (далее – ТРО) проводилась с 1955 по 1961 гг. На хранение принимались ТРО низкой и средней активности, в 1961 г. прием РАО на хранение был прекращен, а сооружение 227 было законсервировано.

Основными источниками поступления РАО являлись следующие объекты:

- Первая в мире АЭС с уран-графитовым реактором мощностью 30 МВт, введенная в эксплуатацию в 1954 г.;
- Исследовательский реактор БР-2 на быстрых нейтронах мощностью 0,150 МВт, который эксплуатировался с 1956 по 1957 гг.;
- Исследовательский реактор БР-5 на быстрых нейтронах мощностью 5 МВт, введенный в эксплуатацию в 1959 г.;
- Стенд 27ВМ – прототип ядерно-энергетической установки атомной подводной лодки (ЯЭУ АПЛ) с реактором на тепловых нейтронах мощностью 75 МВт, введенный в эксплуатацию в 1956 г.;
- Стенд 27ВТ (прототип ЯЭУ АПЛ) с реактором на промежуточных нейтронах мощностью 75 МВт, введенный в эксплуатацию в 1959 г.;



Рис. 1. Спутниковый снимок территории расположения сооружения 227

- «Горячая» лаборатория для экспериментальных исследований по радиохимической технологии регенерации облученного ядерного топлива и выделению изотопов, введенная в эксплуатацию в 1958 г.;
- Предприятия городов Москвы и Ленинграда.

Объект располагался на территории Обнинска, вплотную примыкая к городским очистным сооружениям и к частным автогаражам. К юго-западу от сооружения 227 на расстоянии ~800 м протекает река Протва. Ближайшими к объекту являются база стройиндустрии (0,4 км) и промышленные площадки ФЭИ (~1 км).

Санитарно-защитная зона была ограничена периметром его территории, огорожена бетонным забором и оборудована системой физической защиты (см. рис. 1).

На территории регионального хранилища РАО размещались четыре емкости для хранения ТРО, одна емкость для хранения жидких радиоактивных отходов (ЖРО), и 11 наблюдательных скважин глубиной от 3,5 до 42 м (для мониторинга миграции радионуклидов).

План-схема объекта представлена на рис. 2.

Заполнение емкостей хранилища производилось с 1955 по 1961 гг., после чего были выполнены мероприятия по консервации. Емкости гидроизолированы и обвалованы грунтом.

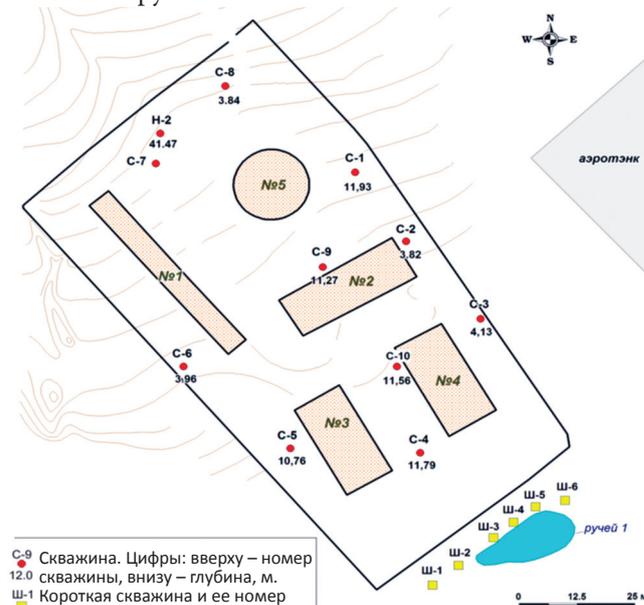


Рис. 2. План-схема сооружения 227

Емкость № 1 представляет собой земляную траншею размером 52×5 м и глубиной 2,5 м с рабочим объемом 640 м<sup>3</sup>, облицованную тесом.

Емкость № 2 железобетонная, размером 24×10 м и глубиной 3 м с рабочим объемом 660 м<sup>3</sup>, разделена на два отсека.

Емкость № 3 железобетонная, размером 24×10 м и глубиной 3 м с рабочим объемом 660 м<sup>3</sup>, разделена на два отсека.

Емкость № 4 железобетонная, размером 24×10 м и глубиной 3 м с рабочим объемом 640 м<sup>3</sup>, разделена на две части, каждая из которых состоит из семи отсеков, разделенных деревянными перегородками. В каждом отсеке имеется по два загрузочных люка, закрытых бетонными плитами 1,4×1,9 м каждая.

Емкость № 5 из железобетона, облицованная изнутри нержавеющей сталью для сбора жидких радиоактивных отходов. Диаметр емкости 10,5 м, глубина – 4,1 м, рабочий объем 220 м<sup>3</sup>.

Общая характеристика объекта:

- площадь территории 7300 м<sup>2</sup>;
- проектная активность РАО 2,9·10<sup>13</sup> Бк.
- проектный объем емкостей хранения 2600 м<sup>3</sup>;
- объем ТРО в емкостях пункта хранения ~2060 м<sup>3</sup> (табл. 1);
- масса ТРО в пункте хранения, всего ~1460 т;
- всего объем ТРО, с учетом загрязненных грунтов – до 5000 м<sup>3</sup>;
- суммарная ориентировочная активность ТРО (по данным учета на момент консервации) ~3,26·10<sup>12</sup> Бк.
- сооружение 227 относится ко II категории объектов по потенциальной радиационной опасности, его воздействие при аварии ограничивается его санитарно-защитной зоной.

Вывод из эксплуатации хранилища предусматривает:

- удаление всех РАО, хранящихся и образовавшихся в процессе вывода из эксплуатации;
- кондиционирование и временное хранение РАО в ФЭИ до передачи национальному оператору на захоронение;
- реабилитацию территории;
- снятие сооружения 227 с надзора органов государственного регулирования безопасности.

Все материалы, образующиеся при выводе из эксплуатации сооружения 227 и реабилитации его территории, сортировались на чистые и загрязненные радиоактивными веществами.

Материалы, загрязненные радиоактивными веществами с удельной активностью более 100 Бк/кг по

<sup>137</sup>Cs и 1000 Бк/кг по <sup>90</sup>Sr, классифицировались как РАО (ОСПОРБ-99/2010). К ним относятся: загрязненный грунт обваловки и содержимое емкостей-хранилищ, загрязненные элементы демонтированных строительных конструкций емкостей-хранилищ, загрязненный грунт, извлекаемый из котлованов, образовавшийся после демонтажа строительных конструкций емкостей-хранилищ, загрязненный грунт, удаляемый с территории сооружения 227.

Суммарный объем переработанных материалов при выводе из эксплуатации сооружения 227 составил ~6000 м<sup>3</sup>, в том числе ТРО ~5000 м<sup>3</sup>:

- ТРО в емкостях-хранилищах – 2060 м<sup>3</sup>;
- Лом бетона при демонтаже строительных конструкций емкостей-хранилищ ~1500 м<sup>3</sup>, из них грязный ~500 м<sup>3</sup> (в том числе);
- Загрязненный грунт ~2000 м<sup>3</sup>;
- ТРО, образующиеся в процессе вывода из эксплуатации ~500 м<sup>3</sup>.

Для обеспечения безопасного обращения с ТРО применялись передвижные технологические комплексы в виде стальных тентовых конструкций на свайном фундаменте, устанавливаемые над каждой из вскрываемых емкостей и оснащенные инженерными системами (вентиляция, электроснабжение, видеонаблюдение)

До вывода из эксплуатации объекта нами были осуществлены следующие мероприятия:

1. Разработка проектной документации с учетом обеспечения радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды в соответствии с действующими нормами, правилами и стандартами.
2. Расчет выбросов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в атмосферу и дозы облучения персонала и населения.
3. Составление и утверждение программы радиационно-гигиенического обследования состояния хранилищ РАО и прилегающих территорий.
4. Технико-экономическое обоснование работ по выводу из эксплуатации хранилищ с учетом экономических затрат на транспортировку РАО с места их размещения до регионального объекта захоронения-хранения.
5. Обоснование необходимого объема проведения комплексного инженерно-радиационного обследования (КИРО) строительных конструкций хранилищ, территории промплощадки, санитарно-защитной зоны. Оценка радиационной обстановки на объекте перед выводом из эксплуатации.
6. Проведение работ по выемке и сортировке твердых радиоактивных отходов, демонтажу и дезактивации строительных конструкций хранилища.

Таблица 1

**Характеристика ТРО по данным учета на момент консервации сооружения 227**

Номер емкости	Заполненный объем, м <sup>3</sup>	Масса ТРО, т	Удельная активность, Бк/кг	Суммарная активность, Бк
1	640	450	5·10 <sup>5</sup>	0,23·10 <sup>12</sup>
2	560	320	3·10 <sup>6</sup>	0,96·10 <sup>12</sup>
3	450	430	3·10 <sup>6</sup>	1,29·10 <sup>12</sup>
4	410	260	3·10 <sup>6</sup>	0,78·10 <sup>12</sup>
Всего	2060	1460		3,26·10 <sup>12</sup>

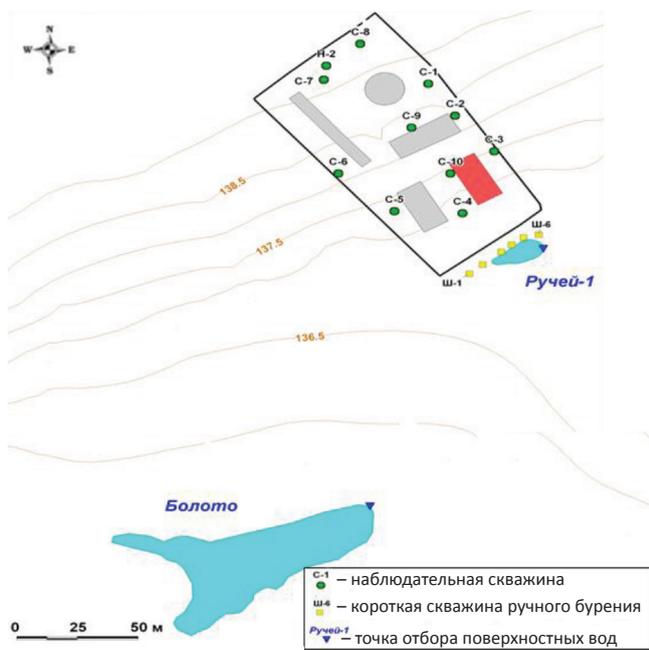


Рис. 3. Схема расположения точек опробования поверхностных вод и наблюдательных скважин в районе сооружения 227

7. Радиационное обследование территории, включая обследование образованных котлованов после реабилитационных работ.
8. Рекультивация территории.

При проведении КИРО осуществлено более 6 700 измерений: более 2 400 измерений МАЭД, более 4 100 измерений β-загрязнения рабочих поверхностей, оборудования и более 200 измерений удельной и объемной активности проб окружающей среды.

Наблюдения за поверхностными водами проводились в двух точках – в заболоченности, существующей сразу за периметром сооружения 227 (точка «Ручей-1»), и в болоте, находящемся примерно в 120 м к юго-западу от периметра хранилища (точка «Болото») (рис. 3).

Наблюдения за подземными водами проводились по семнадцати наблюдательным скважинам – шести скважинам ручного бурения глубиной до 1,2 м (Ш-1–Ш-6), десяти скважинам глубиной 3,8–12 м (С-1–С-10) и одной скважине глубиной 42,5 м (Н-2).

Замеры уровней подземных вод проводились во всех скважинах ежемесячно, а отбор проб – ежеквартально.

### Результаты и обсуждение

#### Характеристика грунтовых и поверхностных вод

Питание первого от поверхности водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Максимальные абсолютные отметки уровней отмечаются в период весеннего снеготаяния, в марте–апреле, минимальные – в зимнюю межень, в феврале.

В пределах территории объекта наибольшие значения объемной активности подземных вод (30–40 Бк/л),

(обусловленные в основном <sup>90</sup>Sr) отмечались в скважине С-4, расположенной ниже по потоку от емкости № 4. На порядок меньшими значениями объемной активности характеризуются грунтовые воды в скважине С-10 – 0,25–2,5 Бк/л. В других наблюдательных скважинах объемная активность подземных вод ниже предела обнаружения.

К югу от хранилища существует болото, в которое происходит частичная разгрузка поверхностных и грунтовых вод. При контроле грунтовых вод на участке их разгрузки в заболоченности (скважины Ш-1 – Ш-6) в 2010–2011 гг. по большинству скважин здесь также замечалось незначительное содержание <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs (менее 10 Бк/л). При этом в скважине Ш-2 фиксировались максимальные значения суммарной β-активности, отмеченные за весь период наблюдений за подземными водами в районе хранилища РАО – 170–250 Бк/л. Радиационное воздействие хранилища прослеживается также в воде болота, расположенного в 120 м к юго-западу, куда происходит разгрузка загрязненных грунтовых вод. Суммарная объемная β-активность болотной воды составляет 3–5 Бк/л.

На основе результатов многолетних наблюдений за структурой потока подземных вод и их удельной активностью были определены ориентировочные размеры области радиоактивного загрязнения водоносного горизонта, которые представлены на рис. 4.

По результатам приведенной выше характеристики и описания геолого-гидрологических условий территории расположения регионального хранилища РАО можно заключить, что сооружение является источником радиационного воздействия на геологическую сре-

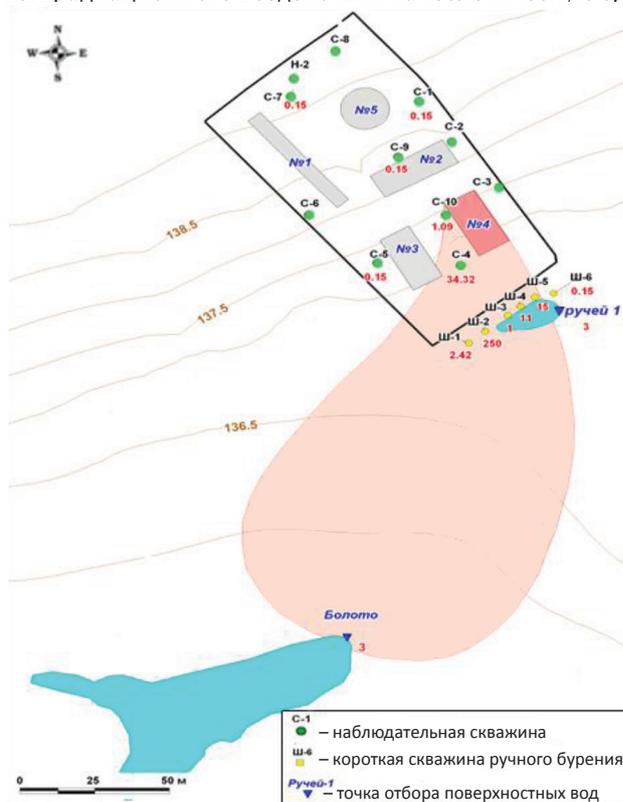


Рис. 4. Предполагаемые границы области радиоактивного загрязнения грунтовых вод по удельной активности

ду (с выходом до  $5 \cdot 10^8$  Бк за все время эксплуатации). Объектом воздействия является средне-верхнечетвертичный аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт, в отложениях которого размещены емкости с твердыми радиоактивными отходами.

### Характеристика почв и грунтов

Помимо систематических наблюдений за уровнями грунтовых вод и содержанием в них и в поверхностных водах техногенных радионуклидов, на территории хранилища РАО и в его окрестностях проводились работы по изучению радиоактивного загрязнения почв и грунтов, оконтуриванию загрязненной территории и выявлению ореолов загрязнения. В качестве критерия для оконтуривания области радиоактивного загрязнения грунтов взяты нормированные значения удельных активностей указанных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование материалов:  $^{90}\text{Sr}$  – 1000 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  – 100 Бк/кг.

Область загрязнения пород  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  выше приведенных значений расположена в пределах периметра объекта, вблизи емкости № 4. Общий объем загрязненных пород, оконтуренный изолиниями указанных удельных активностей, составляет  $\sim 2000 \text{ м}^3$ .

Были проведены измерения содержания  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в грунтах, отобранных в южной части емкости № 4 из-под плит загрузочных люков, а также на глубине 3–4 м. Удельная активность грунтов под плитами варьировала в диапазоне 0,6–120 кБк/кг ( $^{90}\text{Sr}$ ), и 33–150 Бк/кг ( $^{137}\text{Cs}$ ). В то же время грунты, отобранные на глубине 3–4 м, содержали  $^{90}\text{Sr}$  менее 0,1 Бк/кг и  $^{137}\text{Cs}$  – менее 2,0 Бк/кг.

Исследования показали, что наибольшие значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  отмечалось в верхних слоях почвы (до 20 см).

Распределение значений удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  на территории хранилища приведено на рис. 5.

В строительных конструкциях содержание  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  не превышало фоновых значений.

### Защита персонала, осуществляющего вывод объекта из эксплуатации

При разработке проектной документации большое внимание было уделено защите персонала и окружающей среды от возможного радиационного воздействия.

Для этого были выполнены расчеты объемной активности выбросов в объеме защитного укрытия и в атмосферном воздухе, а также ожидаемых доз облучения персонала и населения.

Расчет пылевыведений и радиоактивности в воздухе проводился на основе консервативного подхода: удельная активность пыли и аэрозолей принималась за 30 % от удельной активности ТРО в первичных упаковках.

Показано, что максимальный выброс аэрозолей не превысит 0,6 т в год (в основном за счет ТРО, загрязненного грунта и пыли бетона), а максимальное годовое поступление радионуклидов через органы дыхания (без учета СИЗ) составит: по  $^{90}\text{Sr}$  – 9,5 Бк (предел годового поступления ПГП =  $8,3 \cdot 10^5$ ), по  $^{137}\text{Cs}$  – 8 Бк (ПГП =  $4,2 \cdot 10^6$  Бк) и  $^{60}\text{Co}$  – 0,17 Бк (ПГП =  $2,1 \cdot 10^6$  Бк).

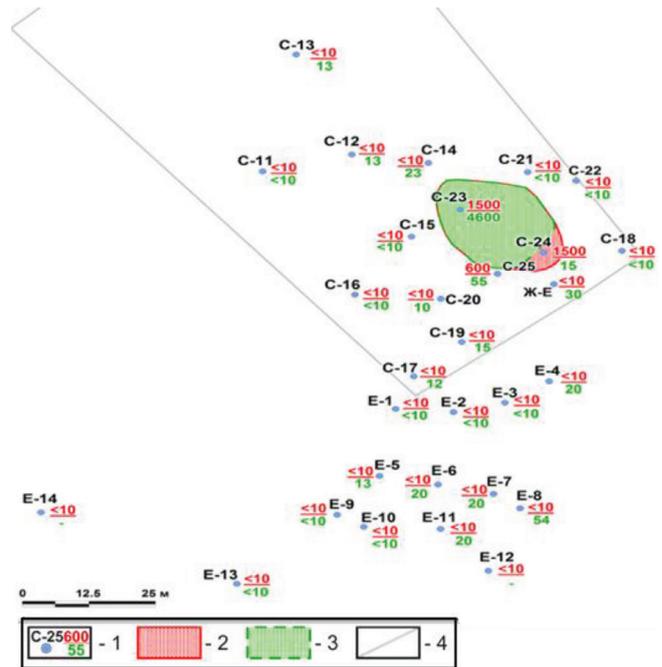


Рис. 5. Распределение значений удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в породах в районе хранилища РАО. 1 – изыскательские скважины, их номера и значения максимальной удельной активности пород (Бк/кг) по  $^{90}\text{Sr}$  (числитель) и  $^{137}\text{Cs}$  (знаменатель); 2 – контур загрязнения пород  $^{90}\text{Sr}$  в изолинии 1000 Бк/кг; 3 – контур загрязнения пород  $^{137}\text{Cs}$  в изолинии 100 Бк/кг; 4 – границы хранилища

Максимальная доза облучения персонала, согласно расчетам, не превышает  $3 \cdot 10^{-1}$  мЗв/год.

Оценка выбросов  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в атмосферу из защитного укрытия [12] показала, что максимальное годовое поступление этих радионуклидов через органы дыхания у населения составит 3,6 Бк, а доза облучения не превысит  $1 \cdot 10^{-5}$  Зв/год.

### Этапы работ

В проектной документации были предусмотрены следующие этапы работ по выводу из эксплуатации хранилища:

- Этап 1. Подготовка территории и сооружения 227 к производству работ.
- Этап 2. Ликвидация емкостей.
- Этап 3. Реабилитация территории.

В ходе реализации первого этапа нами осуществлены следующие работы (рис. 6):

- подготовка строительной площадки (срезка растительного грунта, планировка территории, асфальтирование площадки, устройство подъездных дорог);
- монтаж модульных стальных тентовых конструкций, располагаемых над траншеями, с последующим устройством в них инженерных узлов и систем электроснабжения, вентиляции, контроля радиационной обстановки, видеонаблюдения;
- монтаж на территории площадки модуля вентиляции, пункта мойки колес и дезактивации строительной техники, санпропускника, саншлюзов и бытовых помещений.



Рис. 6. Подготовительные работы



Рис. 7. Основной этап работ



Рис. 8. Конечное состояние площадки

В ходе реализации второго этапа были проведены следующие работы (рис. 7):

- удаление грунтовой обваловки и гидроизоляции, плит перекрытия всех емкостей, извлечение ТРО из емкостей с последующей их фрагментацией, сортировкой, кондиционированием и упаковкой в контейнеры и передачей в специализированную организацию, дезактивация строительных конструкций

емкостей. Общий объем извлеченных и образованных ТРО составил более 2000 м<sup>3</sup>.

- извлечение около 3000 м<sup>3</sup> грунта из образовавшихся котлованов с его сортировкой и радиационным контролем. В результате этих работ выделено около 120 м<sup>3</sup> загрязненного грунта, который был передан в специализированную организацию как ТРО.

Чистый грунт использовался для обратной засыпки котлованов и планировки территории.

Все работники, занятые на производстве работ по выводу из эксплуатации, обеспечивались индивидуальными дозиметрами (ТЛД и прямопоказывающими), а также направлялись на обязательное СИЧ-обследование, проводимое перед началом и по окончании производства работ. За весь период проведения работ (один год), величина доз внешнего облучения персонала варьировала от 0,16 мЗв до 1,7 мЗв, средняя доза облучения персонала, участвовавшего в работах, составила 0,7 мЗв. Дозы внутреннего облучения персонала находились в пределах от 0,35 до 3,3 мкЗв, что значительно ниже установленных контрольных уровней. В ходе выполнения второго этапа был выполнен радиационный контроль образовавшегося котлована с отбором контрольных проб для определения остаточной активности радионуклидов.

Показано, что после реабилитации и рекультивации удельная и объемная активность проб окружающей среды не превышала фоновых значений. Уровни МАЭД на поверхности котлована после засыпки и территории находились в пределах 0,09–0,15 мкЗв/ч, а плотность потока  $\beta$ -частиц варьировала от 15 до 38  $\beta$ -частиц/(см<sup>2</sup>·мин). Полученные данные не превышали фоновых значений.

На завершающем этапе работ проведен демонтаж модульных сооружений, ранее смонтированных инженерных систем, выполнена обратная засыпка котлованов, планировка территории площадки и ее озеленение.

Обобщение результатов наблюдений позволяет сделать следующие выводы.

### Выводы

1. При проведении работ по выводу из эксплуатации хранилищ РАО были обоснованы и успешно применены комплексные организационные, технические и методические решения по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения, по контролю сбросов и выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, по контролю содержания радионуклидов в грунтовых и поверхностных водах, а также по учету и

контролю РАО. Получен положительный опыт применения передвижных защитных укрытий и модульных систем инженерного обеспечения безопасности работ и защиты окружающей среды.

2. В ходе радиационного обследования котлованов, образовавшихся на месте емкостей хранилищ, выполнено более 6700 измерений, в том числе: более 2400 измерений мощности дозы  $\gamma$ -излучения, более 4100 измерений поверхностного загрязнения  $\beta$ -излучающими нуклидами, отобрано более 200 проб для определения удельной и объемной активности радионуклидов, параметров окружающей среды.

3. Показано, что средние уровни облучения персонала не превышали 0,7 мЗв (диапазон от 0,16 до 1,7 мЗв), а дозы внутреннего облучения варьировали от 0,35 до 3,3 мЗв в год). Средние уровни МАЭД  $\gamma$ -излучения на поверхности котлованов до засыпки и на территории площадки после засыпки находятся в диапазоне от 0,09 до 0,15 мкЗв/ч и не превышают фоновых значений. Поверхностное  $\beta$ -активное загрязнение территории площадки находится в диапазоне от 15 до 38  $\beta$ -част/(см<sup>2</sup>·мин), что соответствует фоновым значениям.

4. Уровни содержания <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в грунтовых водах варьировали в пределах от 0,25 до 40 Бк/л, а <sup>137</sup>Cs – ниже предела измерения (0,01 Бк на пробу).

5. Удельная активность грунтов под плитами загруженных люков по <sup>90</sup>Sr варьировала от 0,6 до 120 кБк/кг, а по <sup>137</sup>Cs – от 33 до 150 Бк/кг. Грунты, отобранные на глубине 3–4 м, содержали <sup>90</sup>Sr – до 0,1 Бк/кг, <sup>137</sup>Cs – до 2,0 Бк.

6. Расчетные значения дозы внешнего и внутреннего облучения персонала не превышали  $1 \cdot 10^{-2}$  мЗв/год, что значительно ниже допустимых величин, предусмотренных НРБ-99/2009 год.

7. После проведения рекультивационных работ содержание радионуклидов в почве, грунтовых и подземных водах не превышало фоновых значений.

**Для цитирования:** Майзик А.Б., Коренков И.П., Цовьянов А.Г., Лашенова Т.Н., Клочков В.Н. Комплексные организационные и методические подходы к выводу из эксплуатации хранилищ РАО // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64. № 3. С. 32–39.

DOI: 10.12737/article\_5cf22ff1aea865.52579823

## Comprehensive Organizational and Methodical Approaches to Decommissioning of Radwaste Repositories

A.B. Mayzik<sup>1</sup>, I.P. Korenkov<sup>2</sup>, A.G. Tsovyanov<sup>2,3</sup>, T.N. Laschenova<sup>2,3</sup>, V.N. Klochkov<sup>2</sup>

1. SC "A.A. Bochvar High-tech Research Institute of Inorganic Materials", Moscow, Russia. E-mail: darveterin@yandex.ru;
2. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia;
3. RUDN University, Moscow, Russia

A.B. Mayzik – Deputy Chief Engineer, Chief of Service, Post-Graduate Student; I.P. Korenkov – Chief Researcher, PhD Tech., Dr. Sci. Biol., Prof.; A.G. Tsovyanov – Head of Lab.; T.N. Laschenova – Leading Researcher, PhD Chem., Dr. Sci. Biol., Prof.; V.N. Klochkov – Chief Researcher, Dr. Sci. Tech., Associate Prof.

### Abstract

**Purpose:** Development of comprehensive organizational and methodical approaches to decommissioning of shallow radwaste (RW) repositories.

**Material and methods:** The following researches were conducted during assessment of radiation and hygiene situation:

- assessing the state of physical barriers of repositories (tanks) of solid and liquid RW;
- assessing radiation situation at the repository site before and after remediation;
- measuring specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in ground and subsurface water, core sample, soils, building structures.

Methods: on foot gamma survey; gamma-ray spectrometric measurement of radionuclides in environmental samples using a stationary spectrometer; radiochemical extraction of radionuclides and their radiometry.

**Results:** The surveys were performed in 2014–2016. They delivered data on gamma dose rate at the RW repository site, specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in ground and subsurface water, core sample, soils, building structures.

The surveys showed that content of  $^{90}\text{Sr}$  in subsurface water varied from 0.25 to 0.4 Bq/kg, while content of  $^{137}\text{Cs}$  was below the detection threshold (0.01 Bq per sample). It was founded that distribution of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in soil (core sample) forming the top layer of the area is highly uneven. In some cases specific activity of soil exceeded 1000 Bq/kg (C-23 well at the depth of 2.75 m and C-24 well at the depth of 5 m). In all other cases specific activity of the core sample did not exceed 10 Bq/kg, and specific activity of soil was up to 50 Bq/kg which is over background values. The ambient dose equivalent rate at the site varied from 0.1 to 0.3  $\mu\text{Sv/h}$ .

More than 6700 measurements were performed (more than 2400 measurements of the ambient dose equivalent rate, more than 4100 measurements of beta-contamination of work surfaces and equipment, and more than 200 measurements of specific and volumetric activity of environmental samples).

After remediation activities content of radionuclides in soil and subsurface water was at the levels of background values.

**Conclusions:** This work allowed to substantiate technical solutions, procedure of RW accounting and control, using of shelters and mobile systems for radiation safety of the personnel and environmental protection.

It was demonstrated that average external radiation doses for the workers involved in decommissioning activities did not exceed 0.7 mSv (variation from 0.16 to 1.7 mSv), while internal radiation doses varied from 0.35 to 3.3  $\mu\text{Sv}$ .

Density of beta-contamination of the site did not exceed 38 beta-particles/( $\text{cm}^2\cdot\text{min}$ ) which corresponds to background values. The ambient dose equivalent rate of the site was within 0.09–0.15  $\mu\text{Sv/h}$  after the work has been done.

**Key words:** liquid and solid radioactive waste, repositories, specific and volumetric activity, decontamination, remediation

Article received: 28.08.2019. Accepted for publication: 18.04.2019

## REFERENCES

1. Abramov AA. Final results of implementation of the NRB FTP and challenges for the future. The 15th anniversary Russian scientific conference. Moscow, IBRAE, 2015. P. 15–21. (Russian).
2. RF Government Regulation of the 15 December 2016 No. 1248 “Nuclear and radiation safety for 2016–2020 and till 2030”.
3. Engatov IA, Mashkovich VP, Orlov YuV, et al. Radiation safety at decommissioning of civil- and military-oriented nuclear facilities. Moscow, Atomizdat, 1997. 213 p. (Russian).
4. Agapov AM, Linge II, Melikhov EM, et al. Radiation and new safety issues. Problems related to nuclear legacy and their solutions. Moscow, Papers of the Conference in honor of the 15th anniversary of IBRAE, 2012. P. 13-7. (Russian).
5. Bylkin BK, Engatov IA. Decommissioning of nuclear reactor systems. Moscow, National Research Center “Kurchatov Institute”, 2018, 223 p. (Russian).
6. Volkov VG, Danilovich AS, Zverkov YuA, et al. The experience of decontamination of radioactive soil at the site of National Research Center “Kurchatov Institute”. Atomnaya Energia, 2011;110(2):106-112. (Russian).
7. Korenkov IP, Shandala NK, Laschenova TN, Sobolev AI. Environmental protection at operation and decommissioning of radiation-hazardous facilities. Moscow, GEOTAR-Media, 2014, 432 p. (Russian).
8. Best foreign practices of site decommissioning and remediation. Vol. 1. Eds.: Linge II, Abramov AA. IBRAE, 2017, 336 p. (Russian).
9. Best foreign practices of site decommissioning and remediation. Vol. 2. Eds.: Linge II, Abramov AA. IBRAE, 2017, 187 p. (Russian).
10. GOST R 8.563-2009. State system for ensuring the uniformity of measurements. Procedures of measurements. Moscow, Standartinform, 2010. (Russian).
11. Korenkov IP, Laschenova TN, Shandala NK, Kiselev MM. Guidance on radiation and hygienic monitoring of the environment. Eds.: Ilyin LA, Samoylov AS. Moscow, GEOTAR-Media, 2018. 459 p. (Russian).
12. Guidance manual on calculation of emissions from uncontrolled sources in the industry. ZAO NIMIOTSTROM. Novosibirsk, 2002. 30 p. (Russian).

**For citation:** Mayzik AB, Korenkov IP, Tsovyanov AG, Laschenova TN, Klochkov VN. Comprehensive Organizational and Methodical Approaches to Decommissioning of Radwaste Repositories. Medical Radiology and Radiation Safety. 2019;64(3):32-9. (Russian).

DOI: 10.12737/article\_5cf22ff1aea865.52579823